

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Шубинский Игорь Борисович – доктор технических наук, профессор, эксперт Научного совета при Совете Безопасности РФ, генеральный директор ООО «ИБТранс» (Москва, РФ)

Заместители главного редактора:

Вэй Куо – ректор и заслуженный профессор, профессор электротехники, компьютерного анализа данных, ядерной техники, городской университет Гонконга, Член Национальной инженерной академии США (Гонконг, Китай)

Шебе Хендрик – доктор естественных наук, главный эксперт по надежности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности, TÜV Rheinland InterTraffic (Кёльн, Германия)

Ястребенецкий Михаил Анисимович – доктор технических наук, профессор, начальник отдела Национальной академии наук Украины «Государственный научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности» (Харьков, Украина)

Ответственный секретарь:

Замышляев Алексей Михайлович – доктор технических наук, заместитель Генерального директора АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Технический редактор:

Новожилов Евгений Олегович – кандидат технических наук, начальник отдела АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Председатель редакционного совета:

Розенберг Игорь Наумович – доктор технических наук, профессор, научный руководитель АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Сопредседатель редакционного совета:

Махутов Николай Андреевич – доктор технических наук, профессор, член – корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова, председатель Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности (Москва, РФ)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Аврамович Зоран Ж. – доктор технических наук, профессор, профессор Института транспорта Университета г. Белград (Белград, Сербия)

Баранов Леонид Аврамович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управления и защиты информации» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва, РФ)

Бочков Александр Владимирович – доктор технических наук, начальник отдела анализа и ранжирования объектов контроля Администрации ООО «Газпром газнадзор» (Москва, РФ)

Бочков Константин Афанасьевич – доктор технических наук, профессор, научный руководитель – заведующий НИЛ «Безопасность и ЭМС технических средств (БЭМС ТС), УО «Белорусский государственный университет транспорта» (Гомель, Белоруссия)

Боян Димитров – профессор, доктор математических наук, профессор теории вероятности и статистики, университет Кеттеринга, Флинт (Мичиган, США)

Гапанович Валентин Александрович – кандидат технических наук, президент НП «Объединение производителей железнодорожной техники» (Москва, РФ)

Каштанов Виктор Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, профессор департамента прикладной математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Москва, РФ)

Климов Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор, начальник управления 4 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны РФ (Москва, РФ)

Кофанов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Москва, РФ)

Кришнамурти Ачътха – доктор физико-математических наук, профессор, почетный профессор Департамента математики Университета науки и технологий (Кочин, Индия)

Лецкий Эдуард Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва, РФ)

Манджей Рам – профессор, доктор, отделение математики, вычислительной техники и технических наук, Университет Graphic Era, (Дехрадун, Индия)

Нетес Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) (Москва, РФ)

Папич Любиша – доктор технических наук, профессор, директор Исследовательского центра по управлению качеством и надежностью (DQM), (Приевор, Сербия)

Поляк Роман А. – доктор физико-математических наук, профессор, приглашенный профессор Школы математических наук технологического Университета Технион (Хайфа, Израиль)

Соколов Борис Владимирович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), (Санкт-Петербург, РФ)

Уткин Лев Владимирович – директор высшей школы прикладной математики и вычислительной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Санкт-Петербург, РФ)

Юркевич Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор, Главный научный сотрудник лаборатории Технической диагностики и отказоустойчивости ИПУ РАН. (Москва, РФ)

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Журнал «Надежность»

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9782 от 11 сентября 2001 года.

Официальный печатный орган Российской академии надежности

Издатель журнала

ООО «Журнал «Надежность»

Генеральный директор

Дубровская А.З.

Адрес: 109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д. 27, стр. 1, оф. 209

ООО «Журнал «Надежность»

www.dependability.ru

Отпечатано в ОАО «Областная типография

«Печатный двор». 432049, г. Ульяновск, ул. Пушкирева, 27.

Подписано в печать 21.09.2020

Объем , Тираж 500 экз, Заказ №

Формат 60x90/8, Бумага глянцевая

Журнал издается ежеквартально с 2001 года, стоимость одного экземпляра 1045 руб., годовой подписки 4180 руб., телефон редакции 8 (495) 967-77-05, e-mail: dependability@bk.ru

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции.

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ УЧАСТИИ И ПОДДЕРЖКЕ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ» (АО «НИИАС») И ООО «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ТЕХНОЛОГИИ»

СОДЕРЖАНИЕ

Структурная надежность. Теория и практика

Даффи Р. Прогнозирование надежности энергетической системы и продолжительности сбоев, включая нештатные ситуации 3

Осинцев К.В., Кузнецов Н.А. Методология экспериментального определения показателей надежности при проведении статических испытаний шаровых кранов на изгиб..... 15

Дискуссия по терминологии надежности

Плотников Н.И. Разработка альтернативной терминологии надежности 21

Управление активами. Теория и практика

Замышляев А.М. Опыт европейских железнодорожных компаний в управлении надежностью и безопасностью технических активов на основе современных цифровых технологий..... 27

Безопасность. Теория и практика

Бочков А.В. О методах качественной оценки состояния безопасности структурно-сложных систем 34

Функциональная надежность. Теория и практика

Кораблева М.В., Рогавичене Л.И. Исследование отношения общества к внедрению беспилотного транспорта для пассажирских перевозок..... 47

Управление рисками. Теория и практика

Ридли М.К. Выявление рисков киберугроз на базе построения событийно-сущностных онтологий по текстам из открытых источников..... 53

Колесников Е. Ю. Способы количественной оценки и уменьшения неопределенности аварийного риска взрывопожароопасных объектов 61

Гнеденко – Форум 68

Прогнозирование надежности энергетической системы и продолжительности сбоев, включая нештатные ситуации

Ромни Б. Даффи, США, Айдахо, Айдахо-Фолс
duffeyrb@gmail.com



Ромни Б. Даффи

Резюме. Цель. Обеспечить прогнозирование и планирование крупномасштабных беспрецедентных случаев отключения электроэнергии, имеющих значение для аварийного планирования и национальной системы реагирования. Прогнозирование вероятности, продолжительности и восстановления сбоев, основанное на теории, которая может применяться на глобальном уровне. Были собраны данные об отключениях электропитания и продолжительности сбоев для целого ряда событий в Бельгии, Канаде, Ирландии, Франции, Японии, Швеции, Новой Зеландии и США. Представлена новая теория и корреляция для вероятности крупных региональных отключений электроэнергии размером едва ли не до 50 000 МВт(э) без дополнительных повреждений инфраструктуры или энергосети. В случае серьезных и редких событий с повреждениями (крупные наводнения, пожары, снежные бури, ураганы и т.д.) сбои являются более продолжительными, и вероятность восстановления зависит от степени сложности, которая ограничивает доступ и возможность восстановления. Получены требования динамической надежности для аварийных резервных источников питания и насосных систем на примерах наводнения в Новом Орлеане из-за урагана «Катрина» и затопления ядерных реакторов Фукусима в результате цунами. **Выводы.** Были получены и подтверждены эксплицитные выражения вероятности и продолжительности всего диапазона сбоев: от «нормальных» крупных отключений электроэнергии до продолжительных отключений из-за редких и более серьезных событий с затруднениями доступа и ремонта.

Ключевые слова: отключение электроэнергии, сбои, вероятность восстановления, способность к восстановлению, реагирование на чрезвычайную ситуацию, теория, стихийные бедствия.

Для цитирования: Даффи Р. Прогнозирование надежности энергетической системы и продолжительности сбоев, включая нештатные ситуации // Надежность. 2020. №3. С. 3-14. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-3-14>

Поступила 01.06.2020 г. / После доработки 27.07.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

1. Введение: Отключение электроэнергии и восстановление

Крупные случаи отключения электроэнергии нарушают работу современных промышленных и городских комплексов. Поскольку отключений электроэнергии невозможно полностью избежать, необходимо знать вероятность сбоя, его размер и продолжительность, чтобы планировать адекватные запасы мощности, вводить резервные генераторы, предпринимать аварийные меры и защищать критически важную инфраструктуру [1]. Эта тема вовсе не нова и была тщательно изучена для утверждения стандартов производительности и надежности энергоснабжения [2] и стратегий управления в национальных планах действий в чрезвычайных ситуациях [3]. Но в литературе, знаниях и данных существует пробел между повседневной работой по обеспечению надежного энергоснабжения и реагированием на неожиданные экстремальные сбои из-за катастрофических событий и крупных стихийных бедствий. В данной статье мы попытались восполнить этот пробел, определив вероятности сбоя любого размера МВт(э) и последующего восстановления, включая использование аварийных резервных систем для повседневных и чрезвычайных ситуаций.

Общие исследования повседневной надежности или защищенности электрической сети представляют живой бизнес-интерес для владельцев и операторов линий электропередачи и станций и определяют размер получаемой ими прибыли. Общество обеспокоено задержками восстановления электроснабжения, особенно из-за значительного ущерба и нарушения деятельности всего общества в результате воздействия редких или беспрецедентных событий и стихийных бедствий (например, ураганов, тайфунов, наводнений, цунами и снежных бурь). Именно такие крупные бедствия вызывают беспокойство по поводу уязвимости инфраструктуры, национальной готовности к чрезвычайным ситуациям и принятия управленческих решений.

После многочисленных отключений электроэнергии (так называемых сбоев или системных аварий) энергетические компании, организации по управлению в аварийных ситуациях и правительственные учреждения внедрили огромное количество (иногда несколько тысяч) единиц персонала, ремонтных бригад, оборудования и процедур для восстановления подачи электроэнергии, эвакуации людей и устранения последствий. На практике восстановление может осуществляться лишь «настолько быстро, насколько это возможно для человека» и ограничивается повреждениями, проблемами с доступом и нарушением деятельности общества, вызванными наводнениями, штормами, пожарами, ветром, льдом и снегом [4], и, как указано, «восстановление энергосистемы обычно одинаково для всех видов угроз» [5].

Вероятность восстановления отдельного сбоя или отключения фактически является случайной величиной и рассматривается как результат хорошо известных и принятых законов статистической физики и механики

[6, 7, 8, 9]. В нашей более ранней работе был представлен подробный анализ вероятности и сроков восстановления энергоснабжения при очень больших сбоях или отключениях электроэнергии на национальном уровне [10].

Изначальное отключение электроэнергии и последующее восстановление являются *независимыми* событиями, представляющими собой первоначальную причину сбоя или отказ и последующий процесс ремонта и восстановления. Таким образом, динамическая вероятность $P(h)_{NR}$ сбоя любого размера, продолжающегося любое количество часов h до восстановления, задается выражением, где обычная надежность является просто дополнением: $R(h) = 1 - P(h)$,

$P(h)_{NR}$ = Вероятность изначального отключения, $P(\text{МВт потеряно})_i$ × Вероятность невосстановления, $P(NR)_h$.

Если аварийные источники питания или резервные системы существуют, развернуты и активированы, можно включить *зависимую* вероятность продолжительного отключения электроэнергии внешних и других источников питания, таким образом,

$P(h)_{ELAP}$ = Вероятность изначального отключения, $P(\text{МВт потеряно})_i$ × Вероятность невосстановления любого или всех источников энергии, $P(ELAP)_h$.

Таким образом, есть три различных типа вероятности, которые необходимо определить: (1) вероятность первоначального сбоя определенного размера, основанную на известных или возможных отключениях электроэнергии системы; (2) вероятность последующего восстановления или невосстановления электроэнергии в течение определенного периода времени; и (3) вероятность того, что системы аварийного резервирования или системы «холодного пуска» не смогут выполнить свои функции и восстановить электроэнергию к этому времени.

Для получения этих существенных элементов представленный подход объединяет теорию обучения человека и теорию надежности механической системы, сопоставленную с обширными данными об отключениях электроэнергии и восстановлении во время реальных событий и подтвержденную этими данными.

Для расчета вероятности первоначального отключения, $P(\text{МВт потеряно})_i$, имеются данные о размере сбоев в США за период 1984–2000 гг. по отключениям Q , от 1 до 40 000 МВт(э) [11]. Выборка аналогичных графиков по субрегионам также была представлена и подогнана с использованием эмпирических биномиальных, логарифмически нормальных распределений и распределений Вейбулла [12]. Разумеется, эти распределения являются достаточно взвешенными из-за большого количества «нормальных» или ежедневных отключений, а не редких катастрофических событий. Также необходимо предсказать малую вероятность «хвоста» распределения, для которого такие стандартные статистические методы не применимы, как это ясно видно на рис. S-28 [12]. Мерфи и др. [12] также рассматривали вопрос взаимосвязанности отключений и ожидаемо пришли к выводу, «... что самые большие коррелированные случаи отказов были вызваны экстремальными погодными условиями».

Именно такого вывода следовало ожидать, учитывая значительные географические масштабы и воздействие стихийных бедствий (штормы, ураганы, наводнения, снежные бури и лесные пожары) на энергетические системы и соответствующие универсальные характеристики восстановления энергии [4]. Крупные природные бедствия не соблюдают и не признают проведенные человеком границы или произвольные области энергосети, нанося ущерб и разрушения на обширной территории.

Другие национальные данные о продолжительности отключений электроэнергии получены из [13] и включают крупные отключения во Франции, Швеции и Бельгии с размером первоначальных сбоев 28 000, 11 400 и 2 400 МВт(э) соответственно. Длительность отключения хорошо коррелируется с помощью экспоненциальных функций, полученных из теории обучения [10].

Для анализа стадии восстановления нами были собраны обширные данные по восстановлению электроэнергии после различных стихийных бедствий, таких как штормы, снежные бури, пожары, ураганы, циклоны и наводнения, вызывающих отключения электроэнергии продолжительностью не более 800 часов в масштабе города, региона и нескольких стран. Степень сбоя представлена числом, сообщаемым распределительными электроэнергетическими компаниями тех подключений/потребителей, которые остались «обесточенными», таким образом, вероятность невосстановления – это доля первоначальных отключений, которые не были восстановлены. Для всех случаев отключения электроэнергии эти вероятности невосстановления $P(NR)$ хорошо коррелируются с простыми экспоненциальными функциями, зависят от и сгруппированы по степени сложности, характеризуемой степенью повреждения инфраструктуры, нарушением деятельности общества и соответствующими проблемами доступа [4].

Необходимо спроектировать и определить эффективность аварийных систем при уменьшении ущерба, восстановлении инфраструктуры и управлении последствиями. Для фактических (не гипотетических) крупных событий существуют данные о производительности во время отключения электроэнергии в следующих случаях: (а) восстановление питания на атомных электростанциях после потери соединения с сетью, но без дополнительного повреждения; (б) резервные насосные системы не в состоянии адекватно защитить Новый Орлеан от наводнения, вызванного ураганом «Катрина» [14]; и с) аварийные генераторы и внешние системы охлаждения не предотвращают расплавление ядерных реакторов Фукусимы в Японии после землетрясения и цунами. Анализ данных позволяет получить характерные частоты отказов, которые лежат в основе определения вероятности длительного отключения электроэнергии этих крупных разнообразных аварийных систем [15].

Мы выведем общие выражения для трех вероятностей на основе фактов, полученных при значительных сбоях, наблюдаемых в спроектированных, эксплуатируемых и контролируемых человеком энергосистемах.

2. Методы: Допущения и теоретическое построение

Первым основополагающим допущением является то, что отключения электроэнергии, сбои и восстановления любой причинности являются случайными, но зависят от действий человека, в том числе, от решений по управлению чрезвычайными ситуациями. Во-вторых, поскольку люди учатся и думают, существует систематическая тенденция увеличения опыта или подверженности риску, поэтому, как показывают данные, можно ожидать, что более крупные аварии будут иметь меньшую вероятность. В-третьих, вероятность восстановления или возобновления работы после каждого первоначального сбоя или отключения электроэнергии зависит от способностей и опыта, приобретенных антикризисными менеджерами и аварийными бригадами, что также демонстрирует тенденцию к обучению. Наконец, поскольку вероятность того, что какое-либо отдельное отключение произойдет и работа будет восстановлена, фактически является случайной, наблюдаемое распределение результатов соответствует хорошо известным и установленным законам статистической физики [6, 7, 8, 9].

Согласно теории обучения [8], после любого прошедшего или во время любого существующего воздействия риска или накопленного опыта, ϵ , скорость уменьшения наблюдаемой частоты отказов $\lambda(\epsilon)$ пропорциональна этой частоте: $\frac{d\lambda}{d\epsilon} \propto \lambda$, $\frac{d\lambda}{d\epsilon} = -k\lambda$, где k – коэффициент пропорциональности. В случае существующего риска мгновенное значение частоты отказов $\lambda(\epsilon)$ эквивалентно наблюдаемой скорости изменения числа отключений электроэнергии.

После подстановки переменных этот показатель принимает вид:

$$\lambda(\epsilon) = \lambda_m + (\lambda_0 - \lambda_m)e^{-k\epsilon}, \quad (1)$$

где λ_0 и λ_m – изначальная и наименьшая достигаемая частота отказов соответственно, а k – коэффициент пропорциональности.

Как правило, априорная вероятность в течение некоторого предшествующего интервала воздействия риска ϵ равна:

$$P(\epsilon) = 1 - e^{-\int \lambda(\epsilon) d\epsilon} = 1 - e^{-\left(\frac{\lambda - \lambda_m}{k}\right)} \quad (2)$$

Для оценки этих частот и вероятностей применяется простейший подход, соответствующий физической ситуации, где последствия отключения электроэнергии моделируются как аварийные события без рассмотрения основной причины или системного первоисточника каждого события, после чего аппроксимации и результаты проверяются на соответствие имеющимся данным.

2.1. Вероятность первоначального отключения электроэнергии или сбоя определенного размера

В прошлом мы наблюдали, что элементы энергосистемы (электростанция, линия электропередачи, контроль распределения...), вызывающие первоначальные отключения, формируют некоторое известное или предполагаемое распределение общего размера отключения. Очевидно, что мера относительной подверженности риску или мера опыт понесенного ущерба фактически прямо пропорциональна размеру отключения электроэнергии $\varepsilon = f(Q)$ который оценить относительно средней величины отключения \bar{Q} , так что $\varepsilon \equiv Q / \bar{Q}$. Для каждого отдельного отключения можно допустить, что $\lambda_0 = 1/\varepsilon$, подразумевая, что отдельные события отключения являются независимыми (как оно и есть на практике) и что обычно отключения почти полностью восстанавливаются, поэтому можно принять, что $\lambda_m \ll \lambda \approx \lambda_0 e^{-k\varepsilon}$.

Таким образом, из уравнений (1) и (2) вероятность любого первоначального отключения электроэнергии или сбоя размера Q становится дважды экспоненциальной функцией:

$$P(\text{МВт потерян})_i = P(Q)_i = 1 - e^{-\frac{\bar{Q}}{kQ} \left\{ 1 - e^{-\frac{kQ}{\bar{Q}}} \right\}}. \quad (3)$$

Очевидными и разумными ограничениями являются:

- (а) небольшие сбои или отключения $kQ / \bar{Q} \rightarrow 0$, $P(Q)_i = 1$;
- (б) бесконечно крупные отключения $kQ / \bar{Q} \rightarrow \infty$, $P(Q)_i = 0$;
- (с) средние отключения, при условии, что $k \sim 1$, $Q / \bar{Q} \rightarrow 1$, $P(Q)_i = 1 - e^{-[1 - e^{-1}]} = 0,74$.

2.2. Динамическая вероятность продолжительности и восстановления отключения

Можно отметить, что после первоначального отключения в конечном итоге электроэнергия постепенно восстанавливается для каждого отдельного клиента или подключения, при этом соответствующей мерой подверженности риску является прошедшее время отключения в часах, то есть, $\varepsilon \equiv h$. Таким образом, вероятность любой продолжительности любого отдельного отключения любого первоначального размера в любой момент времени просто определяется как

$$P(h)_{NR} = P(Q)_i \times P(NR)_h. \quad (4)$$

Данные о вероятности невосстановления электроэнергии $P(NR)_h$ для всех событий, связанных с отключением, хорошо коррелируются с простыми экспоненциальными функциями, зависят от и сгруппированы по степени сложности, характеризуемой степенью повреждения инфраструктуры, нарушением деятельности общества и соответствующими проблемами доступа [4]. Мгновенная вероятность невосстановления $P(NR)_h$ каждого отдельного отключения во всей системе для любого временного

интервала h рассчитывается путем деления уравнения (1) на общее число возможно требуемых восстановлений, включая число первоначальных отключений. Таким образом, общая экспоненциальная форма мгновенной вероятности невосстановления или длительного отказа равна [6]

$$P(NR)_h = P_m + (1 - P_m)e^{-\beta h}, \quad (5)$$

где $k \equiv \beta$ и зависит от уровня интенсивности бурь, пожаров, наводнений и ураганов, а P_m обусловлена несколькими отключениями, не подлежащими восстановлению.

При подстановке уравнений (3) и (5) в уравнение (4) при $P_m \ll 1$, получаем:

$$P(h)_{NR} = \left(1 - e^{-\frac{\bar{Q}}{kQ} \left\{ 1 - e^{-\frac{kQ}{\bar{Q}}} \right\}} \right) (P_m + e^{-\beta h}). \quad (6)$$

Вполне удовлетворительной аппроксимацией является $P_m \ll e^{-\beta h}$,

$$P(h)_{NR} \approx \left(1 - e^{-\frac{\bar{Q}}{kQ} \left\{ 1 - e^{-\frac{kQ}{\bar{Q}}} \right\}} \right) e^{-\beta h} \quad (7)$$

Ограничениями все так же являются:

- (а) небольшие сбои или отключения, $P(h)_{NR} \approx e^{-\beta h}$;
- (б) бесконечно крупные отключения, $P(h)_{NR} \rightarrow 0$;
- (с) средние отключения при $k \sim 1$, $P(h)_{NR} \approx 0,74 e^{-\beta h}$.

2.3. Динамическая вероятность длительного отключения при использовании аварийных систем и резервных систем «холодного пуска»

Это серьезная и более сложная ситуация, поскольку иногда во время общего восстановления системы локально или по всей сети разворачиваются аварийные резервные системы, например, дизельные генераторы, газовые турбины или резервные электростанции «холодного пуска». Следовательно, вероятность длительного отключения электроэнергии начального размера Q зависит от вероятности $P(ELAP)_h$ того, что электроснабжение еще не было восстановлено как обычными, так и аварийными средствами, поэтому

$$P(h)_{ELAP} = P(Q)_i \times P(ELAP)_h. \quad (8)$$

Чтобы оценить $P(ELAP)_h$ необходимо объединить вероятность невосстановления $P(h)_{NR}$ и продолжительную невозможность успешно развернуть или запустить какие-либо или все системы аварийного резервирования [15, 16]. Общая зависящая вероятность $P(ES)$ того, что любая аварийная или резервная система не будет развернута или запущена, обычно описывается как экспоненциально зависящая от средней частоты отказов всей системы λ_{ES} [17].

Плотность динамической вероятности длительного сбоя или отключения электроэнергии $dP(ELAP)_h/dh$, таким образом, является множимым динамической вероятности длительного невосстановления системы $P(NR)_h$, помножаемое на плотность вероятности

$\frac{dP(ES)}{dh} = \lambda_{ES} e^{-\lambda_{ES}h}$, будучи показателем изменения вероятности неудачи аварийного восстановления [15, 16]. Учитывая прошедшее или доступное время восстановления h , получаем:

$$P(ELAP)_h = \int_0^h \frac{dP(ELAP)_h}{dh} dh = \int_0^h P(h)_{NR} \frac{dP(ES)}{dt} dh$$

Поскольку $P_m \ll e^{-\beta h}$, после интегрирования частей, получаем:

$$P(ELAP)_h = \int_0^h (e^{-\beta t}) \lambda_{ES} e^{-\lambda_{ES}h} dt = \left(\frac{\lambda_{ES}}{\beta + \lambda_{ES}} \right) [1 - e^{-(\beta + \lambda_{ES})h}]. \quad (9)$$

Ограничениями, разумеется, являются:

- (a) высокая сложность восстановления, $\beta \ll \lambda$, $P(ELAP)_h \approx 1 - e^{-\lambda_{ES}h}$;
- (b) надежное резервирование, $\lambda = 0$, $P(ELAP)_h = 0$;
- (c) крайне продолжительные периоды времени, $h \rightarrow \infty$,

$$P(ELAP)_h \rightarrow \left(\frac{\lambda_{ES}}{\beta + \lambda_{ES}} \right).$$

После подстановки (9) в (8) вероятность длительного сбоя выражается как:

$$P(h)_{ELAP} = \left(\frac{\lambda_{ES}}{\beta + \lambda_{ES}} \right) \left(1 - e^{-\frac{\bar{Q}}{kQ} \left\{ 1 - e^{-\frac{kQ}{\bar{Q}}} \right\}} \right) [1 - e^{-(\beta + \lambda_{ES})h}]. \quad (10)$$

Важными параметрами являются соотношение частот отказа $\Psi = \lambda_{ES}/(\beta + \lambda_{ES})$ и ключевая характеристика времени, или период изменения параметра в e раз (e -folding) $1/(\beta + \lambda_{ES})$.

Следовательно, для любого заданного первоначально отключения электричества Q мерой увеличенной благодаря успешному использованию систем аварийного резервного копирования устойчивости $R_{ES}(Q)$ является монотонно уменьшающееся отношение вероятностей, согласно уравнениям (7) и (10), выражаемое как:

$$R_{ES}(Q) = \frac{P(h)_{ELAP}}{P(h)_{NR}} = \Psi [1 - e^{-\lambda_{ES}h}]. \quad (11)$$

Роль соотношения ключевых параметров частоты отказов становится очевидной, поскольку время восстановления зависит от того, какая частота отказов доминирует. Этот результат может быть обобщен для развертывания любого количества независимых дублирующих и/или разнообразных резервных систем с различными частотами отказов [15].

3. Результаты: Сравнение и проверка на соответствие имеющимся

Для определения параметров и проверки теории, описанной в разделе 2, можно последовательно и систематически сравнивать предсказания уравнений (3), (7) и (10) с

данными о крупномасштабных сбоях и восстановлениях. Рассматриваемые события полностью включают реагирование на чрезвычайные ситуации, действия человека, процедурное руководство, специализированные ремонтные бригады и управленческие решения.

3.1. Сравнение данных о сбоях национального и регионального уровня с теорией

Исходные данные о сбоях в США за 1984-2000 гг., полученные из базы данных NERC (Исследовательский совет по окружающей среде), показаны в [11] в виде кривой с точками и линиями на графике в логарифмическом масштабе по обеим осям; однако из-за недоступности самих данных¹ мы были вынуждены вручную переписывать их, основываясь на увеличенных изображениях. Возникшая ошибка составляет не более 5% вероятности превышения заданного размера сбоя или отключения электроэнергии $P(Q)$, что достаточно точно для прогнозирования редких событий (см. ниже). Для наблюдаемой выборки отключений вероятный размер среднего отключения определяется как:

$$\bar{Q} = \sum_i P_i(Q) \times Q_i.$$

Тогда данные [11] имеют ожидаемое среднее значение отключения $\bar{Q} = 95 \text{ MBm}(e)$. В качестве основания для корреляции сравнение теории с данными показано на рис. 1, полученном простой корректировкой единственного параметра $k = 2$ в уравнении (3) таким образом, что общая форма распределения отключений находится с помощью:

$$P(Q)_i = 1 - e^{-\frac{\bar{Q}}{2Q} \left\{ 1 - e^{-\frac{2Q}{\bar{Q}}} \right\}}. \quad (12)$$

Вероятность, основанная на теории, имеет максимальную неопределенность порядка $\pm 20\%$ по сравнению с переписанными данными, что достаточно для целей текущей оценки при условии, что прогнозируемые крупные сбой для $Q_i > 40 \text{ 000 MBm}(e)$ имеют вероятность приблизительно 0,003 или меньше. Получена вероятность возникновения среднего сбоя системы $P(\bar{Q}) = 0,74$ при наблюдаемой вероятности $P(Q) = 0,86$.

В недавно опубликованной статье были представлены похожие графики данных для всех восьми регионов NERC [12], которые были подогнаны с использованием полностью эмпирических распределений. Отдельные вероятности наиболее крупных зарегистрированных региональных отключений электроэнергии, естественно, на порядок ниже, поскольку средние локальные от-

¹ Наши запросы доступа и использования исходных файлов данных и цифр для графиков в [11, 12] были отклонены. Как ни странно, фактические данные NERC для США являются закрытыми (частной собственностью), поэтому, по всей видимости, общедоступными или открытыми являются лишь графики.

ключения, \bar{Q} и наиболее точно подобранное значение k значительно изменяются [18].

Более того, благодаря этой новой теории теперь мы можем предсказать вероятность полного (100%) отключения электроэнергии, которое будет «катастрофическим отключением электроэнергии невиданного ранее размера» [1]. Например, для региона NPPC эта вероятность составляет $P(57\,700 \text{ МВт(е)}) = 0,0015$ и представляет собой чисто *количественный* прогноз невообразимого и беспрецедентного сбоя.

В случаях с небольшим ущербом, отключения в масштабе страны, как правило, были вызваны общими сбоями передачи и распределения или перегрузками, распространяющимися по системе, но без дополнительных физических разрушений из-за наводнений, пожаров или ураганов и т.д. [13]. Все данные соответствуют экспоненциальным кривым обучения, описываемым уравнением (5), каждая из которых имеет собственный показатель изменения e-folding в диапазоне 0,3-0,8 в час и коэффициент детерминации $R^2 = 0,9$.

Как показано на рис. 2, наиболее близким приближением уравнения (5) к общим объединенным данным по четырем событиям в трех странах с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,69$ является:

$$P(NR) = e^{-0,43h}. \quad (13)$$

Можно отметить, что даже в случае этих крупных отключений восстановление было выполнено менее чем за 10 часов, несмотря на десятикратные различия в размере Q , МВт(е), или в масштабе первоначального отключения.

Совпадение трендов дает достаточные основания для изучения сравнений данных об отключениях с дополнительным ущербом и осложнениями, рассмотренными далее.

3.2 Сравнение тяжелых событий с теорией

Вероятность того, что локальные системы распределения электроэнергии не восстанавливаются, составляет $P(NR) = n(h)/N_0$ – отношение остаточных сбоев $n(h)$ к общему (начальному или максимальному) количеству N_0 , являющемуся дополнением обычной надежности $R(t) = 1 - P(NR)$.

Результаты 17 событий перечислены в табл. 1, а более детальная информация представлена в [4]. Данные события нанесли различного рода ущерб, поскольку в среднем размер или масштаб общего сбоя в любой момент времени приблизительно пропорционален количеству сбоев «при отключенном питании» или зарегистрированных отдельных сбоев $n(h)$, поэтому $n(h) \propto Q(h)$. В среднем в США за сутки (24/365) на одного потребителя приходится около 10 000 кВтч, поэтому эти события аналогичны начальному диапазону потери электроэнергии порядка $8 < Q < 10,000 \text{ МВт(е)}$. Поэтому, хотя, как правило, это только часть всей региональной системы распределения, они могут представлять собой всю локальную электросеть (как в случае с архипелагом Флорида-Кис) или городское сообщество (как в случае с районом Куинс).

В отличие от традиционных графиков зависимости количества сбоев от времени для различных событий (см., например, [5]), настоящая формулировка упорядочивает все события и демонстрирует, что не только число сбоев влияет на характерные временные рамки восстановления. Данные четко показывают классификацию по группам с восстановлением «нормальных» и «экстремальных» событий, причем в группе с «нормальными» событиями процесс восстановления происходит быстрее; а в группе событий с более серьезным уроном

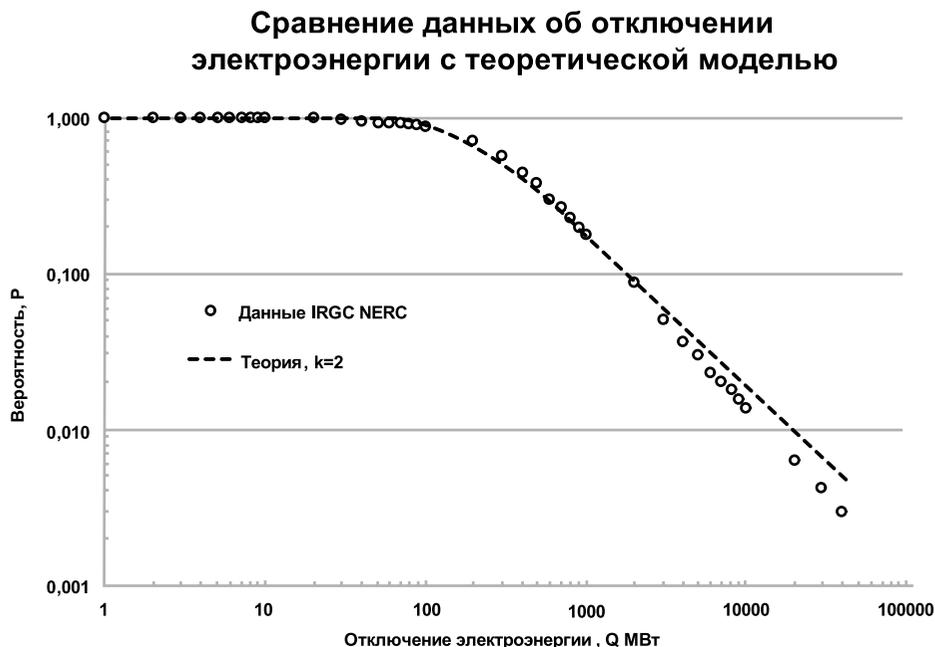


Рис. 1. Сравнение подогнанной теории с общей вероятностью любого заданного размера отключения электроэнергии (данные взяты из [11])

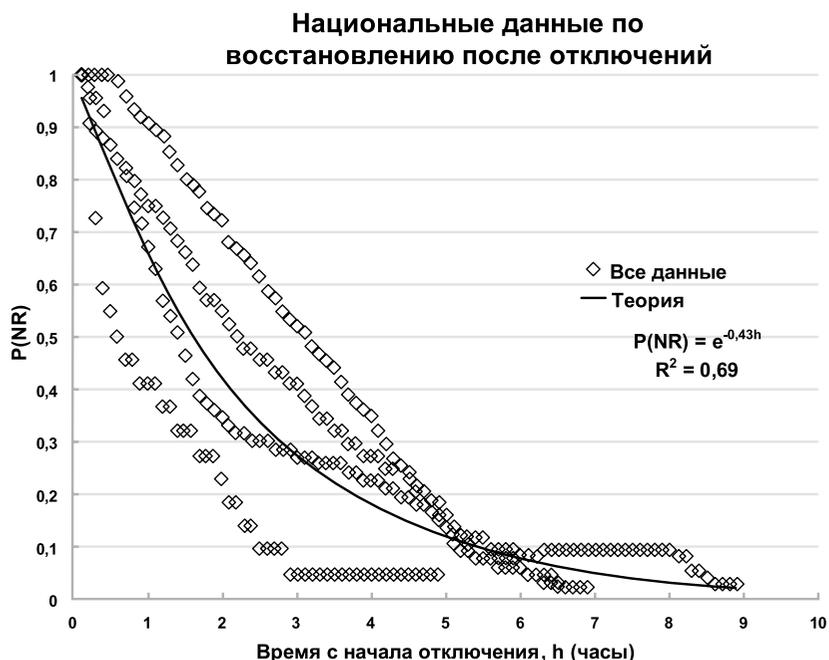


Рис. 2. Общие тренды восстановления для крупномасштабных отключений электроэнергии в стране

Табл. 1. Сводные данные по прекращению подачи электроэнергии

(Ключевое событие: А=землетрясение на Аляске, ИС=отключение из-за износа оборудования (ИО); С=Сэнди, Э=шторм Эмма, Ф=шторм Флоренс, ЦГ=циклон Гита, Х=Харви, ЛК= Ледяной шторм в Квебеке, И=Ирма, Мэ=Мэтью, МА= Майкл, Н=Нейт, НХ-ледяной шторм в Нью-Хэмпшире, О=Офелия; К= шторм Куинн, Р=шторм Райли, Г=зимний шторм Грейсон, Т=шторм Тоби, П=пожары)

Город и/или регион	Источник данных (событие)	Продолжительность, ч	Максимальное количество отказов N_0
Куинс, НЮ	NYPSC/ConEd(ИО)	88	25 000
Нью-Йорк, НЮ	ConEd (С)	336	1 345 000
Флорида	FDO (Мэ)	240	10 234 174
Хьюстон, Техас	CPE (Х)	800	109 244
Корпус-Кристи	AEP (Х)	800	201 635
Южная Флорида	FPL (И)	400	1 810 290
Северо-Западная Флорида	Duke-FL (И)	400	1 610 280
Тампа, Флорида	TECO (И)	400	330 103
Флорида-Кис	FKERC/KES(И)	400	60 000
Флорида-Галф	Gulf Duke (МА)	320	396 700
Алабама	APC-SCS (Н)	60	156 000
Северная и Южная Каролина	Duke Energy(Ф)	190	542 780
Ирландия, ЕС	ESB (О)	240	385 000
Ирландия, ЕС	ESB (Э)	60	127 000
Небраска, США	Eversource (Г)	50	25 796
Небраска, США	Eversource (Р)	90	220 378
Небраска, США	Eversource (К)	120	209 706
Нью-Хэмпшир	NHPS (НХ)	312	432 600
Нью-Джерси	Jersey CP&L (Т)	37	31 656
Квебек, Канада	HydroQuebec (ЛК)	286	1 393 000
Таранаки, Новая Зеландия	Powerco (ЦГ)	160	26 000
Напа, Калифорния	PGE (П)	450	359 000
Вентура, Калифорния	SCE (П)	450	8 400
Анкоридж, Аляска	ChugachMP&L(А)	28	21 713
<i>ИТОГО</i>		5 801	20 061 455

и/или трудностями доступа, очевидно, восстановление проходит гораздо медленнее, как минимум, в 10-20 раз.

Согласно уравнению (5), ключевыми вопросами являются степень ущерба, нарушение деятельности общества или трудности с доступом, что показано с помощью времени увеличения характерного параметра или «степени сложности» в e раз, β в час. Для целей проектирования системы и планирования восстановительных работ с помощью реальных данных мы определили категории отключений (рис. 3):

- тип 0: Стандартный тип $0,8 > \beta > 0,3$ возникает из-за фактически мгновенного сбоя без существенного последующего повреждения: данный тип мы определяем как сравнительно быстрое восстановление после сбоя, которое занимает менее одного дня с простой заменой оборудования, сбросом выключателя, ремонтом линии/сетки и/или переподключением;

- тип 1: Нормальный тип $\beta \sim 0,2$ возникает, когда количество сбоев быстро достигает максимума из-за предельного, но относительно ограниченного дополнительного ущерба, нанесенного инфраструктуре. Ремонт не требует больших усилий, восстановление после сбоев осуществляется в течение 20-200 часов;

- тип 2: Задержка $\beta \sim 0,1-0,02$ постепенно достигает пиковой точки после возникновения сбоя в течение 20 с лишним часов, поскольку нанесенный значительный урон и соответствующие восстановительные работы после урона, приводят к более длительным срокам проведения ремонта – 200-300 часов, пока не произойдет полное восстановление после сбоев;

- тип 3: Продолжающийся длительное время $\beta \sim 0,01$ возникает, возможно, за 50 или более часов до пика числа

отказов из-за продолжающегося нанесения ущерба и значительной потери критически важной инфраструктуры, что приводит к затруднению доступа к системе. Продолжительность восстановительных работ составляет от 300 до 500 часов и более, а восстановление после остаточных или сложных сбоев продолжается еще долгое время;

- тип 4: Чрезвычайный, $\beta \sim 0,001$ или менее, относится к событиям катастрофического характера с практически полным разрушением электрической распределенной системы не подлежащей ремонту (например, «катастрофические сбои» на Гаити, в Коста-Рике и Наике [1]).

Эти категории позволяют более точно реагировать на чрезвычайные ситуации и поддерживать связь, а также более реалистично планировать процесс восстановления. Наблюдаемое изменение степени сложности ($0,01 < \beta < 0,2$) предполагает увеличение частоты проведения восстановительных работ в 20 раз в зависимости от степени повреждения. Невосстанавливаемая часть диапазона данных («хвост» распределения) указывает на то, что вероятность невозможности восстановления – мала, но конечна, $0,003 < P_m < 0,01$ даже спустя несколько сотен часов. Например, на каждый миллион сбоев, несмотря на восстановление 99% после 600 часов, может приходиться несколько тысяч человек, которые остаются без электроэнергии.

Данные о супершторме «Сэнди» (незакрашенные кружки, рис. 3) приведены исключительно в качестве примера, поскольку они демонстрируют процесс «длительного восстановления», как определено Федеральным агентством по управлению в чрезвычайных ситуациях [1, стр. 32]. Экспоненциальная форма и тренды не меняются на протяжении всей продолжительности.

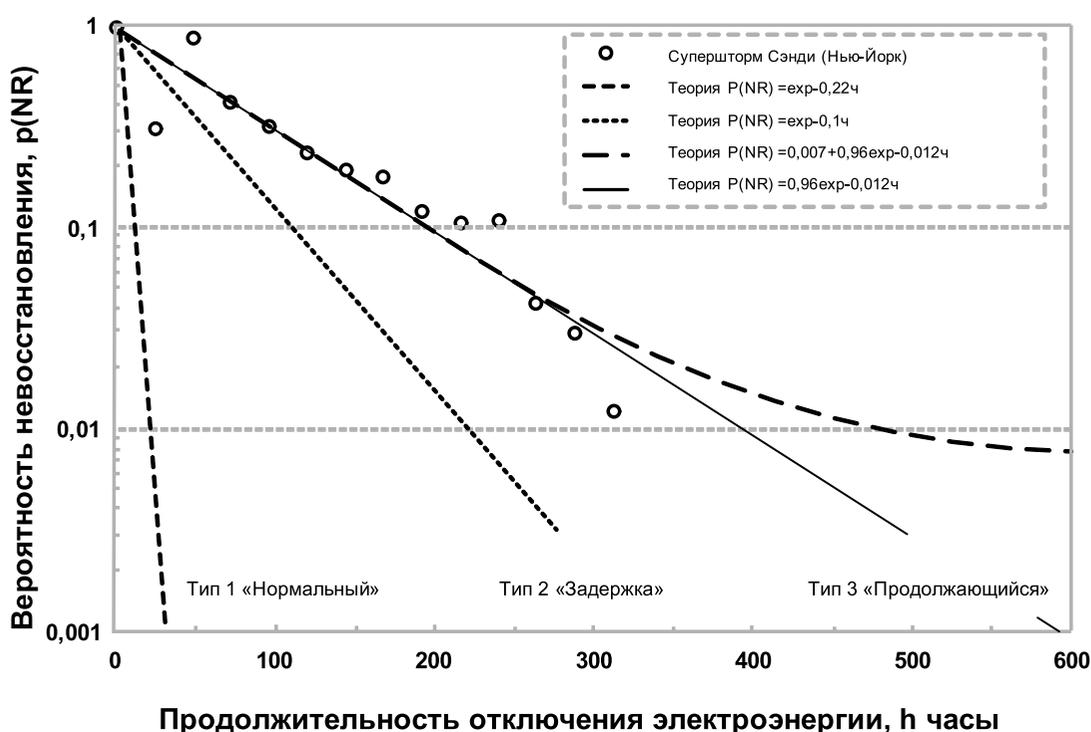


Рис. 3. Упрощенные категории сложности и продолжительности восстановления после сбоя

Министерство внутренней безопасности США [5] сделало разумное предположение, что кривая восстановления при сбое в электроэнергии или «виртуальном» повреждении в результате кибератак аналогична кривой с известными неблагоприятными событиями, такими как ураганы или ледяные штормы. Согласно этой аналогии постулируется, что кибератаки, вызывающие сбой в электроэнергии, просто увеличивают продолжительность и количество восстановлений, которые отражают повышенную «степень сложности» с дальнейшим снижением β . Согласно общедоступным данным [5, 19], кибератака вызвала сбой в подаче электроэнергии путем отключения сетей и захватом рабочего места оператора до восстановления через «несколько часов». Мы классифицировали данное событие как «нормальный» сбой Тип 1 с диапазоном «степени сложности кибератаки» $P(NR)$ $0,1 < \beta < 0,22$, поскольку не было одновременного или дополнительного доступа, физического повреждения или социального разрушения, влияющих на восстановление инфраструктуры подачи электроэнергии и связанных с ней вычислительных/коммуникационных сетей.

Как показано на рис. 2 и 3 и в уравнении (7), при 100 млн гипотетических национальных катастрофических сбоев на 150 000 человек продолжительность сбоев превысит несколько сотен часов.

3.3. Сравнение данных по аварийному реагированию на ураган «Катрина» и радиационную аварию на АЭС Фукусима с теорией

Мы проверяем метод путем его сравнения с событиями, связанными с последовательными более серьезными сбоями электроэнергии, имеющими государственное значение и национальные последствия вследствие потери электропитания. Эти события имеют общую особенность в области развертывания инженерных систем, резервного генератора, насосных или охлаждающих систем, которые должны быть подключены к электросети.

Полная, интегральная и необходимая частота отказов аварийной системы λ_{AC} может быть получена из данных, необходимых для восстановления после сбоя на основных объектах инфраструктуры, и с помощью постепенно увеличивающейся степени сложности:

а) необходимая частота отказов для критических инженерных систем без повреждений определяется на основе данных восстановления после сбоя, чтобы избежать перегрева активной зоны после потери мощности¹ на нескольких атомных станциях США [20].

¹ При анализе рисков ядерных реакторов эту последовательность событий традиционно называют обесточиванием атомной электростанции (обесточивание АЭС) после потери мощности на территории и/или за ее пределами (обесточивание АЭС/потеря внешнего энергоснабжения), а при проектировании станций планируются системы с несколькими дизельными генераторами и резервными батареями.

Эти события восстановления можно рассматривать как «нормальные» или Тип 1 с $\beta \sim 0,22$ без дополнительных значительных повреждений или трудностей, например, при незначительных ледяных штормах, локальных пожарах и городских сбоях (отключение электроэнергии в Куинсе в штате Нью-Йорк [4, 15]). Кроме того, «вероятность отказа рабочего места оператора при восстановлении мощности переменного тока» с использованием аварийных батарей и дизельных генераторов (ДГ) $P(AC)_{дг}$ после обесточивания АЭС была рассчитана в [21] для «представительного» большого блока питания. Наиболее приближенная к 9 точкам [21, Таблица 4-13] теоретическая кривая с затраченным временем (h , часов), где $R^2 = 0,99$, является

$$P(AC)_{дг} = 0,8e^{-0,087h}. \quad (14)$$

Данный результат показывает среднюю интегральную частоту отказов аварийного генератора $\lambda_{дг} \sim 0,09$ в час. При использовании этой величины долгосрочная вероятность длительного перебоя составит $P(AC) \sim \Psi = \lambda / (\beta + \lambda) = 0,09 / (0,22 + 0,09) \sim 0,29$ или около 30%;

б) в качестве анализа еще более сложного события рассмотрим наводнение в Новом Орлеане, вызванное ураганом «Катрина» в 2005 году, в результате которого был нанесен ущерб инфраструктуре [14]. Неспособность аварийных систем предотвращения наводнений оперативно среагировать и функционировать во избежание наводнения является широко известным примером высокой степени сложности управления последствиями крупной катастрофы, повлекшей за собой потерю электроэнергии. Большое количество отчетов демонстрируют: «Производительность системы была снижена из-за недоработки системы, несоответствия уровней защиты и системного резервирования» [14, Том 1]. Несколько сотен насосов для откачки воды в результате наводнений были размещены в четырех регионах, но большинство из них вышло из строя из-за наводнения, потери мощности и/или вынужденной эвакуации [14, Том VI, рисунки 12, 16, 19 и 22].

Интенсивность отказов интегрированных аварийных систем λ_{AC} , являющихся частью функционирующих систем предотвращения наводнений и резервных аварийных насосов, была определена по данным работы маломощного насоса [14, 18]. Рассчитанная динамическая вероятность успешной работы аварийной насосной системы $P(AC)_h$ с добавлением промежуточных результатов в течение нескольких часов (h) после начала урагана «Катрина» составила

$$P(AC)_h = 0,8e^{-0,003h}. \quad (15)$$

Следовательно, для этих разнообразных систем предотвращения наводнений и аварийного резервного копирования предполагаемая усредненная по времени частота отказов составляет $\lambda_{AC} \sim 0,003$ в час, в то время как существует начальная эксплуатационная вероятность $P(AC)_h \sim 0,8$ или приблизительно 80% при $h = 0$ часов. Эта начальная доля идентична доле, соответствующей «нормальному» типу событий на АЭС (см. уравнение

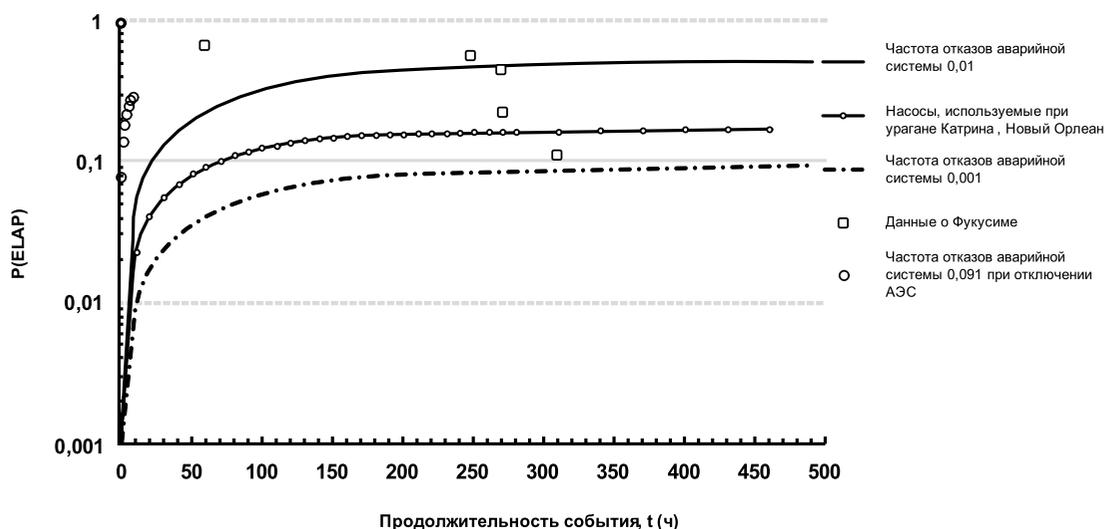


Рис. 4. Вероятность длительного отказа системы $P(ELAP)_h$ для разной частоты отказов аварийных систем и сравнение с данными об урагане «Катрина» и событиями Типов 1 и 3 на АЭС

(14) и немного ниже, чем установленная инженерными войсками США вероятность доступности 90%. Но такой высокий показатель сохраняется только в начале после возникновения события, а не на всем его протяжении; он постепенно снижается (до 20-30%) в течение нескольких сотен часов, поскольку растет ущерб, повышается уровень воды, а также растут проблемы, касающиеся получения доступа к инфраструктуре для восстановления;

в) сильное землетрясение в северо-восточной части Японии и цунами вызвали обесточивание и потерю внешнего энергоснабжения на долгий период времени у 9 ядерных реакторов на Фукусиме [22, 23]. Из-за сбоев в работе системы были повреждены линии электропередачи и произошло неожиданное повышение уровня воды с превышением барьеров, что привело к потере мощности, нарушению управления, сбоям в системах аварийного охлаждения и повреждению резервных систем и насосов. Подача электроэнергии не была восстановлена за достаточно короткое время, чтобы справиться с серьезным ущербом, включая взрывы и радиоактивное загрязнение, или предотвратить его. Для возобновления работы систем питания и охлаждения осуществлялись одновременные действия по восстановлению поврежденных внешних линий электропередачи, подаче питания на территории и использованию резервных, батарейных, насосных, мобильных или любых других специальных установок, которые могли быть развернуты для устранения повреждений.

С помощью уравнения (9) мы рассчитали фактические данные о невозможности восстановления после тяжелых событий или вероятности возникновения продолжительного сбоя для таких явно несопоставимых событий Типа 3, где $\beta \sim 0,01$ [15]. На рис. 4 сравниваются расширенные данные о сбоях в блоках 1-6 Фукусима-дайити и блоках 1, 3 и 4 Фукусима-дайити с прогнозируемой вероятностью длительного сбоя в работе системы $P(ELAP)_h$ во время урагана «Катрина» с использованием данных о фактической частоте отказов аварийного насо-

са $\lambda_{AC} = 0,003$, как показано выше (см. уравнение (15)). На рис. 4 также показаны результаты расчета более высокой ($\lambda_{AC} = 0,001$) или низкой ($\lambda_{AC} = 0,01$) частоты отказов аварийной или резервной систем. Для сравнения показаны результаты отключения АЭС с Типом 1 «нормальный» в виде короткой временной шкалы ($\beta = 0,22$) с использованием частоты отказов аварийных систем $\lambda \sim 0,091$, которая была получена из опубликованной статьи с расчетами отключения АЭС [21].

Комментарии

Таким образом, мы показали, что для всех приведенных в данной статье «длительных» событий Типа 3 или крупных катастроф, фактический диапазон частоты отказов аварийных систем составляет $0,001 < \lambda_{AC} < 0,01$ в час. Этот диапазон включает в себя различные инженерные системы, несколько резервных / различных генераторов, соответствующие меры, принятые со стороны руководства и граждан, вопросы, касающиеся доступа и проведения ремонтных работ, а также восстановительные и производственные работы во время ликвидации чрезвычайных ситуаций и аварийно-спасательных работ. В статье было продемонстрировано, что вероятность продолжительного или длительного сбоя является существенной.

Принимая рассматриваемые значения переменных β и λ в качестве стандартных для любого тяжелого события, критическое время составляет $t^* = 1 / (\beta + \lambda) = 1 / (0,01 + 0,003) \sim 77$ часов и в период данного времени преобладает проблема, связанная с восстановлением, в то время как в длительный период вероятность длительного отказа системы составляет $P(ELAP)_{h \rightarrow \infty} \rightarrow \psi = 0,003 / 0,013 \sim 0,23$ или около 25% вероятности длительного сбоя системы или невозможности восстановления даже при аварийных работах. Следовательно, при возникновении крупных событий возможны продолжительные перебои в подаче электроэнергии и работе насоса, которые могут длиться не менее нескольких

дней даже при наличии нескольких резервных систем или внешних источников питания.

В разделах 3.1, 3.2 и 3.3 мы сравнили совершенно несопоставимые и до этого момента, по-видимому, не связанные отдельные сбои – от крупного урона до восстановления и развертывания резервных и аварийных систем. Комплексный физический механизм является связующим звеном между теоретически обоснованной статистической теорией [6, 7, 8] и пониманием важности процесса обучения человека [9] для восстановления системы и обеспечения требуемой устойчивости системы к внешним воздействиям [1, 25].

Заключение

Системы электроснабжения и распределения электроэнергии являются частью важнейшей инфраструктуры страны. Отключения или сбои в подаче электропитания являются случайными, где тенденция обучения позволяет уменьшить масштабы таких сбоев и улучшить опыт или минимизировать подверженность риску с самыми масштабными сбоями, являющимися редкими событиями с низкой вероятностью возникновения. Мы провели сбор данных и сравнили их по показателям потери мощности и продолжительности сбоя, влияющих на критически важную инфраструктуру для различных событий с тяжелыми последствиями в Бельгии, Канаде, Ирландии, Франции, Швеции, Новой Зеландии и США, включая ураган «Катрина», из-за которого был затоплен Новый Орлеан, и разрушения атомного реактора на Фукусиме.

Комплексный механизм – это теория статистического обучения, которая основана на важности изучения поведения человека при восстановлении системы и обеспечении требуемой устойчивости системы к внешним воздействиям. С помощью данной теории была определена новая корреляция для вероятности возникновения крупных региональных сбоев в размере 50 000 МВт(е) для событий без дополнительного повреждения инфраструктуры, которые были полностью устранены менее чем за 24 часа.

Теория применялась для более серьезных событий с длительными перерывами в работе, включая ущерб в результате стихийных бедствий (наводнения, лесные пожары, ледяные бури, цунами, ураганы и т.д.). Представленный вариант сроков восстановления более чем за 600 часов зависит от степени сложности восстановления. Невосстанавливаемая часть («хвост» распределения) указывает на то, что вероятность восстановления мала, но конечна, даже спустя несколько сотен часов. Впервые влияние на вероятность восстановления (за определенное время) с использованием аварийных систем было представлено в количественной форме.

Таким образом, были получены и подтверждены явные выражения, как для вероятности, так и для продолжительности отключения электроэнергии, начиная от «нормального» типа потери мощности и заканчивая

продолжительными отключениями в редких и более «тяжелых» случаях со сложностью доступа и трудностями при проведении восстановительных работ. Это новое решение позволяет прогнозировать и планировать крупномасштабные беспрецедентные отключения, являющиеся предметом исследования при планировании мероприятий на случай чрезвычайных обстоятельств и национальных мер реагирования.

Приложение: Общее уравнение для редких событий

Более общей формой для нового уравнения распределения экстремальных значений (3) для любой переменной x , где черта над x обозначает релевантное или выборочное среднее значение:

$$P_i(x) = 1 - e^{-\frac{\bar{x}}{kx} \left\{ 1 - e^{-\frac{x}{kx}} \right\}} \quad (A1)$$

Существует только два «настраиваемых» параметра: среднее значение \bar{x} и постоянная обучения k , которые имеют физический смысл. Это уравнение можно сравнить с типичным произвольным трехпараметрическим обобщенным распределением экстремального значения, приведенного в любом другом источнике для отключений электроэнергии [23] и наводнений [24] общей формы:

$$P_i(x) = 1 - e^{-1 + \xi \left(x - \frac{w}{\beta} \right)^{-\frac{1}{\xi}}} \quad (A2)$$

Для обычных «конкретных» распределений:

- Тип Гумбеля, 1, $\xi=0$;
- Тип Фреше, 2, $\xi>0$;
- Тип Вейбулла, 3, $\xi<0$.

«Бритва Оккама» предлагает использование наиболее простого распределения. Конечно, читатель может сам выбрать то, что лучше подходит для данной цели и соответствующим образом отражает физику, имеющиеся данные и логику ситуации.

Библиографический список

1. Surviving a catastrophic power outage, President's National Infrastructure Advisory Council, Washington, DC. NIAC, 2018. URL: www.dhs.gov/national-infrastructure-advisory-council
2. Reliability Standards for the Bulk Electric Systems of North America, BAL-001-2 Updated June 23 National Electricity Reliability Council, Atlanta, Georgia. NERC, 2020. URL: www.nerc.com/pa/Stand/ReliabilityStandardsCompleteSet/RSCCompleteSet.pdf
3. Power Outage Incident Annex (POIA) to the Response and Recovery Federal Interagency Operational Plans, Managing the Cascading Impacts from a Long-Term Power Outage, US Department of Homeland Security, Final, June 2017. URL: www.fema.gov/media-library-data/POIA_Final_7_2017v2.508.pdf

4. Duffey R.B. Power restoration prediction following extreme events and disasters // *Int. J. Disaster Risk Science*. Springer, 2019. 10(1). P. 134-148.

5. Strengthening the cyber security of Federal networks and critical infrastructure / Section 2(e): Assessment of Electricity Disruption Incident Response Capabilities. August 9. U.S. Department of Homeland Security (DHS), 2018. URL: www.dhs.gov/sites/default/files/publications/E013800-electricity-subsector-report.pdf

6. Rushbrooke G.S. Introduction to Statistical Mechanics. Oxford University Press, London, 1949.

7. Greiner W., Neise L., Stocker H. Thermodynamics and Statistical Mechanics. Springer, NY, 1995.

8. Jaynes E.T. Probability Theory: the logic of science / Ed. G.L. Bretthorst. Cambridge University Press, 2003.

9. Duffey R.B., Saull J.W. Managing Risk. J. Wiley and Sons, 2008.

10. Duffey R.B., Ha T. The probability and timing of power system restoration. // *IEEE Trans Power Systems*. 2013. 28. P. 3-9. DOI 10: 1109/TPWRS.2012.2203832

11. Managing and Reducing Social Vulnerabilities From Coupled Critical Infrastructures. / White paper #3: Figure 5, p. 28. IRGC, Geneva, Switzerland, 2006.

12. Murphy S., Apt J., Moura J. et al. Resource adequacy risks to the bulk power system of North America // *Applied Energy*. 2017. 212. P. 1360-1376. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.12.097

13. Kearsley R., 1987, Restoration in Sweden and experience gained from the blackout of 1983 // *IEEE Trans. Power Syst.* 1987. Vol. 2. No. 2. P. 422-428.

14. US ACE (US Army Corps of Engineers), 2006, Performance evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana hurricane protection system. / Volumes I to VIII, Engineering and Operational Risk and Reliability Analysis, Interagency Performance Evaluation Task Force. US ACE, 2006. URL: usace.contentdm.oclc.org/digital/collection/p266001coll1/id/2844/

15. Duffey R.B. The Risk of Extended Power Loss and the Probability of Emergency Restoration for Severe Events and Nuclear Accidents. // *J. Nuc Eng Rad Sci*. 2019. July, NERS-18-1122. DOI: 10.1115/1.4042970

16. Barr J., Basu S., Esmaili H. et al. Technical Basis for the Containment Protection and Release Reduction Rulemaking for BWRs with Mark I and Mark II containments / U.S. NRC Report NUREG-2206. Washington, DC, 2018.

17. Lewis E.E. Introduction to Reliability Engineering / 2nd edition. John Wiley and Sons, New York, 1994.

18. Duffey R.B. Critical Infrastructure: the probability and duration of national and regional power outages. // *RT&A*. 2020. 15. 2(57). P. 62-71.

19. Lee R.M., Assante M.J., Conway T. Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid: Defense Use Case. / E-ISAC Report, Electricity Information Sharing and Analysis Center, Industrial Control Systems. Washington, DC, 2016. URL: ics.sans.org/media/E-ISAC_SANS_Ukraine_DUC_5.pdf

20. Eide S.A., Gentillon C.D., Wierman T.E. et al. Reevaluation of Station Blackout Risk at Nuclear Power

Plants: Analysis of Loss of Offsite Power Events: 1986-2004 / NRC Report No. NUREG-CR6890, Nuclear Regulatory Commission. Washington, DC, 2005.

21. Ma Z., Parisi C., Zhang H. et al. Plant-Level Scenario-Based Risk Analysis for Enhanced Resilient PWR – SBO and LBLOCA / Report INL/EXT-18-51436, Idaho National Laboratory. US DoE, 2018.

22. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report / Tokyo Electric Power Company, Tokyo, Japan. TEPCO, 2012; Japanese Government Report to IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety, Vienna, Austria.

23. Forging a New Safety Construct / American Society of Mechanical Engineers, Presidential Task Force Report. New York, ASME, 2012.

24. Espinoza S., Panteli M., Mancarella P. et al. Multi-phase assessment and adaptation of power systems resilience to natural hazards // *Electric Power Systems Research*. 2016. 136. P. 352-361. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.03.019

25. Sandoval C.E., Raynal-Villaseñor J. Trivariate generalized extreme value distribution in flood frequency analysis // *Journal Hydrological Sciences*. 2008. 53:3. P. 550-567. DOI: 10.1623/hysj.53.3.550

26. Zio E. Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures // *Reliability Engineering and System Safety*. 2016. DOI: 10.1016/j.res.2016.02.009

Сведения об авторе

Ромни Б. Даффи – доктор философии, бакалавр, бывший председатель подразделения атомной энергетики Американского общества инженеров-механиков, США, Айдахо, Айдахо-Фолс, e-mail: duffeyrb@gmail.com.

Вклад автора в статью

Автором разработано теоретическое обоснование и представлено практическое применение оригинальной инновационной концепции риск-анализа функционирования структурно-сложных человеко-машинных систем, позволяющей с приемлемой точностью прогнозировать последствия возникновения и воздействия на них нештатных и чрезвычайных ситуаций различной природы.

Для обоснования представленной концепции автором проведён сбор данных и сравнение их по показателям потери мощности и продолжительности сбоя, влияющих на критически важную инфраструктуру для различных событий с тяжёлыми последствиями в Бельгии, Канаде, Ирландии, Франции, Швеции, Новой Зеландии и США, включая ураган «Катрина», из-за которого был затоплен Новый Орлеан, и разрушения атомного реактора на Фукусиме.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Методология экспериментального определения показателей надежности при проведении статических испытаний шаровых кранов на изгиб

Константин В. Осинцев^{1*}, Никита А. Кузнецов²

¹ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», Российская Федерация, Челябинск,

²ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой», Российская Федерация, Челябинск

*osintsev2008@yandex.ru



Константин В.
Осинцев



Никита А.
Кузнецов

Резюме. К количественным показателям характеристик надежности технологического оборудования, машин и изделий относятся безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость. Целью исследований является разработка методологических основ экспериментального определения показателей надежности шаровых кранов при проведении статических испытаний на изгиб. Цель достигается решением отдельных научных задач, а именно разработкой методики проведения статических испытаний шаровых кранов на изгиб, экспериментальным определением коэффициента разрушающего контроля, аналитическим вычислением коэффициентов отказа, сохранения производительности и коэффициента качества продукции. Разработан лабораторный стенд для экспериментального определения коэффициента разрушающего контроля. Используемые научные методы статических испытаний предлагаются впервые. Минимальная тестовая нагрузка на изгиб является определяющей величиной, поэтому требуется значительная выборка в ходе проведения экспериментальных работ. Кроме того, рекомендовано для шарового крана с наименьшими показателями по выдерживаемой нагрузке на изгиб из представленных экспериментальных образцов одного диаметра, согласно разработанной методологии, определять такой кран как твердотельную неделимую единицу. Выводы по проведенным экспериментальным и теоретическим исследованиям полностью соответствуют решенным научно-техническим задачам. В результате проведения экспериментальных исследований авторы оценили «усиленные» возможности шаровых кранов различных производителей при сравнительном анализе проведенных статических испытаний арматуры на изгиб. Рекомендуется рассматривать твердотельную неделимую единицу без отрыва от совместной работы на трубопровод из определенного материала. Экспериментально определены коэффициенты разрушающего контроля для исследуемых образцов шаровых кранов. Определены коэффициенты сохранения эффективности, которые являются базовыми коэффициентами показателя безотказности – одной из основных характеристик надежности технологического оборудования, машин и изделий.

Ключевые слова: шаровой кран, надежность, статические испытания.

Для цитирования: Осинцев К.В., Кузнецов Н.А. Методология экспериментального определения показателей надежности при проведении статических испытаний шаровых кранов на изгиб // Надежность. 2020. №3. С. 15-20. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-15-20>

Поступила 04.04.2020 г. / После доработки 18.05.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

Введение

Трубопроводная арматура применяется в различных отраслях экономики, в частности, нефтегазовой, химической, металлургической, машиностроительной и энергетической. В настоящей статье рассмотрены вопросы повышения надежности арматуры систем теплоснабжения, отопления, горячего и холодного водоснабжения. Под определение видов трубопроводной арматуры [1] попадают запорная, обратная, предохранительная, распределительно-смесительная, регулирующая, разделительная и отключающая. К основным типам арматуры относят задвижки, клапаны, краны и дисковые затворы. В настоящей статье рассмотрим шаровые краны, которые относятся к запорной трубопроводной арматуре. При производстве шаровых кранов необходимо учитывать показатели надежности [2], которые при их эксплуатации будут влиять на безаварийную работу промышленных трубопроводов. Например, технический регламент Таможенного Союза вводит понятия назначенного ресурса и назначенного срока службы оборудования, при достижении которых работа оборудования должна быть прекращена вне зависимости от его состояния [3, 4]. Но при этом показатели надежности (ПН) различны по отраслям и зависят от типовой модели эксплуатации [2].

Актуальность темы исследования

Типовая модель эксплуатации, применительно к которой создаются показатели надежности, определяется заданными режимами работы оборудования, уровнями воздействующих факторов и нагрузок для каждого режима, характеристики принятой системы технического обслуживания и ремонта [2]. В настоящее время производители шаровых кранов используют различные конструкционные материалы [5, 6] при их изготовлении и, соответственно, применяют разные требования к надежности. В частности, каждый производитель шаровых кранов на данный момент вправе называть свою продукцию «усиленной» без веских на то оснований, что вводит конечных потребителей в затруднительное положение при заказе и выборе шарового крана. Таким образом, необходимо создание методики проведения испытаний для выявления классификации кранов по степени «усиления». Методика может базироваться на существующем федеральном ГОСТ [7], европейских [8, 9, 10] и отраслевых российских [11, 12, 13] стандартах. Авторы предлагают разработать дополнительный новый стандарт на проведение статических испытаний на прочность шаровых кранов, итогом которого станет классификационная таблица (ряды) по выделению в отдельную категорию «усиленных» шаровых кранов. Ряды должны быть составлены в зависимости от условного проходного сечения (номинального размера), которое не имеет единицы измерения и приблизительно равно диаметру трубопровода. Кроме того, категория «усиленный» шаровой кран подразделяется на под-

категории в зависимости от диапазона между тестовой нагрузкой P_{test} и максимально допустимой в ходе экспериментальных исследований $(P_{St})_{max}$. Другими словами, предлагается распределить подкатегории «усиленного» шарового крана между P_{test} и $(P_{St})_{max}$ следующим образом: подкатегория «У1» соответствует нагрузке $P_{test} + (0,8-1,0) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У2» соответствует $P_{test} + (0,6-0,8) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У3» соответствует $P_{test} + (0,4-0,6) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У4» соответствует $P_{test} + (0,4-0,2) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, подкатегория «У5» соответствует $P_{test} + (0,0-0,2) \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$, причем в последнем случае надо понимать, что значение $0,0 \times [(P_{St})_{max} - P_{test}]$ означает не что иное, как отсутствие дополнительного усиления шарового крана и в этом случае производитель шарового крана не вправе заявлять об его «усиленных» возможностях. Также в новом стандарте необходимо дать базовые определения и учесть влияние внешних факторов на состояние трубопроводов, их соединений и арматуры. При внедрении нового стандарта, должны быть выданы рекомендации и сделаны поправки в другие отраслевые стандарты по нормам надежности трубопроводной арматуры.

Порядок и условия проведения исследований

Авторы статьи разработали алгоритм проведения статических испытаний шаровых кранов и отдельных участков трубопроводов, к которым присоединяется арматура. Создан экспериментальный стенд, на котором испытываются образцы изделий. Шаровой кран одного из производителей, отвечающий усредненным показателям проведения эксперимента и соответствующий минимально выдерживаемой статической нагрузке, авторы рассматривают как твердотельную неделимую единицу (ТНЕ). Отклонения от этой нагрузки в большую сторону для образцов других производителей используются как поправочные коэффициенты. Определяется среднее значение этих коэффициентов, которое и будет взято за единицу коэффициента разрушающего контроля. Кроме того, из справочных данных выбираются дополнительные коэффициенты, отвечающие за надежность изделия. По итогу проведения экспериментальных исследований обрабатываются статистические данные по испытаниям шаровых кранов, вводятся коэффициенты разрушающего контроля и, при необходимости, поправочные коэффициенты. Экспериментальные и справочные коэффициенты формируют пул данных, на основе которого можно перейти к расчету коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$.

Цель работы и постановка задач исследования

Цель проводимых испытаний – сформировать концептуальные методологические подходы разрушающего контроля при статических испытаниях шаровых кранов.

Задачами, решаемыми для достижения цели исследования, являются: определение терминологии для показателей надежности шаровых кранов; проведение анализа экспериментальных данных по результатам испытаний по разработанной авторами методике; определение наиболее значимых коэффициентов и поправок для стандартного, рекомендуемого в качестве базового, коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$.

Научная новизна проводимых исследований

На сегодняшний день не существует в области трубопроводного арматуростроения концептуальных основ определения коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$ на базе экспериментальных данных. Разработанная авторами методология может быть масштабирована вначале на шаровые краны и клапаны большего диаметра, а при удовлетворительном результате масштабирования рекомендована в качестве основной для формирования отдельного стандарта на трубопроводную арматуру по показателям надежности. В этом стандарте будут определены критерии «усиленных» шаровых кранов, сведенные в ряды, а также сформулированы экспериментальные коэффициенты, формирующие коэффициент сохранения эффективности $K_{эф}$, такие, как коэффициент разрушающего контроля $K_{рк}$ и другие.

Теоретическая часть.

Надежность объекта исследования

Согласно ГОСТ [14] основным критерием надежности считается коэффициент сохранения эффективности $K_{эф}$, который характеризует степень влияния отказов элемента объекта на эффективность его применения по назначению. В то же время стандарты [2, 14] определяют $K_{эф}$ как рекомендуемый, а для каждого конкретного случая он может дополняться или модифицироваться, что зависит от технологического оборудования и отрасли, в которой оно применяется.

Надежность объекта исследования связана, прежде всего, с безотказностью его работы. В свою очередь, безотказность шарового крана определяется понятием его «усиленных» возможностей. В известной тестовой методике разрушающего контроля по гидравлическим испытаниям [9], которой пользуются страны Европейского Союза, даются рекомендации по тестовой нагрузке шаровых кранов, применяется формула:

$$P_{test} = 1,5 \times P_{St} \quad (1)$$

где 1,5 – коэффициент превышения давления над допустимым давлением P_{St} при комнатной температуре. Формула (1) применяется для кранов, обозначенных PN. При отсутствии данных по PN вводятся поправки.

Для случая статических испытаний будем ориентироваться на формулу (1), но, поскольку одной из задач исследования является определение коэффициентов

разрушающего контроля и поправочных коэффициентов, то:

$$P_{test} = K_{ТНЕ} \times (P_{St})_{min} \quad (2)$$

где $K_{ТНЕ} = 1,5$ – коэффициент превышения давления над допустимым давлением при комнатной температуре для ТНЕ, а $(P_{St})_{min}$ – среднее значение минимальной выдерживаемой статической нагрузки шаровым краном одного из производителей (ТНЕ), образцы которых участвуют в эксперименте.

Экспериментальная часть

Авторами разработан стенд по исследованию влияния статических нагрузок на изгиб на прочность шаровых кранов (рис. 1 – общий вид; рис. 2 – схема испытаний крана; рис. 3 – алгоритм проведения эксперимента).



Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда разрушающего контроля

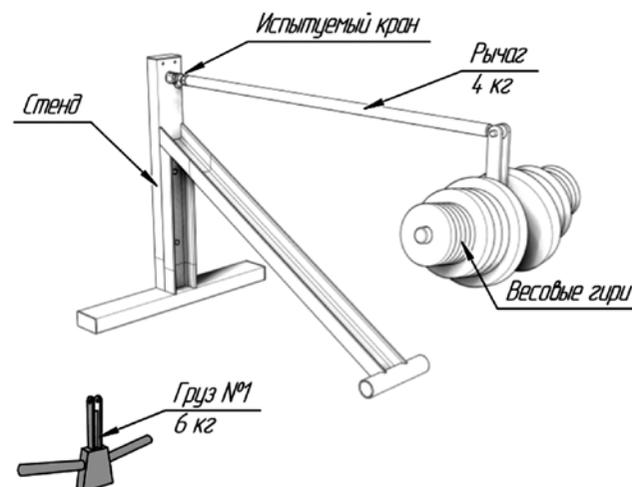


Рис. 2. Схема испытаний крана на экспериментальном стенде

Аналогично проводятся испытания трубопроводов на данном стенде.

Алгоритмы действий разрабатывались с учетом [12], а также частично отдельных статей и глав [13, 14].

Данные, полученные в ходе эксперимента, вносятся в табл. 1.



Рис. 3. Алгоритм проведения эксперимента

Табл. 1. Данные, полученные в ходе экспериментов

	Производитель, нагрузка, кг		
	1 (Китай, латунь с порошковыми добавками)	2 (Китай, латунь)	3 (Россия, латунь)
1	19,5	28,5	34,5
2	20,5	28,5	30,0
3	21,5	25,0	33,5
Среднее	20,5	27,33	32,67

Результаты, сведенные в таблицу 1, изобразим на сводной диаграмме, на которую также нанесем линию статической нагрузки.

Воспользовавшись формулой (2), получим, с учетом того, что $(P_{test})_{min} = 20,5$ кг:

$$P_{test} = K_{THE} \times (P_{test})_{min} = 1,5 \times 20,5 = 30,75 \text{ кг.} \quad (3)$$

На рис. 4 проведем линию статической нагрузки $P_{test} = 30,75$ кг, согласно которой получим, что шаровые краны производителя 3 (Россия, латунь), можно считать «усиленными» согласно результатам данных испытаний.

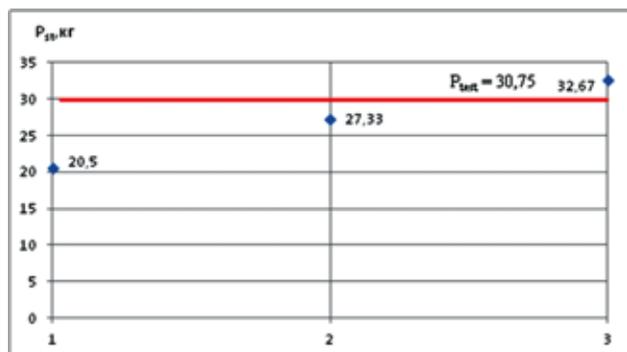


Рис. 4. Сводная диаграмма для определения нагрузок «усиленных» шаровых кранов

Визуализация результатов проведенных испытаний

В итоге проведения экспериментальных работ на испытательном стенде шаровые краны различных производителей разрушались при определенной нагрузке, результаты испытаний для визуализации показаны на рис. 5 и 6.



Рис. 5. Результаты проведенных испытаний на надежность 1 (Китай)



Рис. 6. Результаты проведенных испытаний на надежность 3 (Россия)

Следует отметить, что разрыв шаровых кранов происходил всегда практически в одном и том же сечении.

Коэффициент разрушающего контроля

Определим коэффициент разрушающего контроля, который будет использован в качестве основного коэффициента надежности:

$$K_{pk} = (P_{St})_i / [K_{TNE} \times (P_{St})_{\min}], \quad (4)$$

где K_{pk} – коэффициент разрушающего контроля, а $(P_{St})_i$ – среднее значение выдерживаемой статической нагрузки шаровым краном одного из производителей (i -го производителя), образцы которых участвуют в эксперименте.

Поскольку разрабатываемая методика статических испытаний на изгиб – нестандартная, на формулу гидравлических испытаний на прочность можно только ориентироваться. С учетом рекомендаций по обработке экспериментальных данных:

$$P_{test} = (P_{testA} + P_{testB})/2, \quad (5)$$

где P_{testA} – среднее значение тестовой нагрузки на изгиб шарового крана, P_{testB} – среднее значение тестовой нагрузки на изгиб трубопровода.

Таким образом, в первом приближении «усиленный» шаровой кран малого диаметра будем считать таковым, если он соответствует условиям проведения эксперимента:

$$P_{test} > K_{TNE} \times (P_{test})_{\min}. \quad (6)$$

Определение экспериментальных коэффициентов

Согласно формуле (4) авторы получили экспериментальные коэффициенты и свели их в табл. 2.

Табл. 2. Данные по коэффициентам, полученные в ходе экспериментов

K_{pk}		
1 (Китай, латунь с порошковыми добавками)	2 (Китай, латунь)	3 (Россия, латунь)
0,67	0,89	1,06

По данным испытаний производитель (1) имеет наименьший коэффициент надежности, который авторы определили как коэффициент разрушающего контроля.

Коэффициенты надежности по справочным данным

Согласно [2] необходимо ввести поправочные коэффициенты на готовую продукцию в зависимости от ее характеристик:

1. Шаровый кран принимается как невосстанавливаемый объект систем теплоснабжения, поэтому принимаем коэффициент отказа $K_0 = 0,96$ для всех шаровых кранов различных производителей.

2. Коэффициент сохранения производительности зависит от типа крана. Шаровой кран для систем теплоснабжения использует воду технического назначения, поэтому $K_{сп} = 0,97$.

3. Качество изготовления и материал конструкции оцениваем коэффициентом качества продукции $K_{кп}$. Этот коэффициент предварительно принимаем $K_{кп} = 0,99$ для производителей (2) и (3) и $K_{кп} = 0,97$ для производителя (1).

Коэффициент сохранения эффективности по разработанной методологии

В итоге, воспользовавшись разработанной авторами формулой, получим коэффициент сохранения эффективности:

$$K_{эф} = K_{pk} \times K_0 \times K_{сп} \times K_{кп}, \quad (7)$$

Получим данные по коэффициенту сохранения эффективности, которые сведем в табл. 3.

Табл. 3. Результаты расчета коэффициента сохранения эффективности

$K_{эф}$		
1 (Китай, латунь с порошковыми добавками)	2 (Китай, латунь)	3 (Россия, латунь)
0,61	0,82	0,98

Согласно табл. 3 все коэффициенты оказались меньше 1, следовательно, авторы правильно выбрали начальные условия для проведения эксперимента.

Рекомендации по дальнейшему развитию методологической базы

Авторы статьи подчеркивают, что разработанная методологическая база требует проведения дополнительных испытаний и апробации в условиях эксперимента. Таким образом, минимальная тестовая нагрузка на изгиб $(P_{test})_{\min}$ является определяющей величиной, поэтому требуется значительная выборка в ходе проведения экспериментальных работ. Кроме того, авторы рекомендуют в этом случае шаровой кран с наименьшими показателями по выдерживаемой нагрузке на изгиб из представленных экспериментальных образцов одного диаметра, согласно разрабатываемой методологии, определять как ТНЕ.

Выводы

1. В результате проведения экспериментальных исследований авторы оценили «усиленные» возможности шаровых кранов различных производителей при сравнительном анализе проведенных статических испытаний арматуры на изгиб.

2. Рекомендуется рассматривать ТНЕ без отрыва от совместной работы на трубопровод из определенного материала. Трубопровод также рекомендуется испытать статической нагрузкой.

3. В результате проведения экспериментальных исследований определена ТНЕ, этой единицей оказался шаровой кран производителя (1). Учитывая ТНЕ, найдена минимальная тестовая нагрузка $(P_{test})_{\min} = 20,5$ кг.

4. Экспериментально определены коэффициенты разрушающего контроля для исследуемых образцов шаровых кранов.

5. Определены коэффициенты сохранения эффективности, которые согласно [2] являются базовыми

коэффициентами показателя безотказности – одной из основных характеристик надежности технологического оборудования, машин и изделий.

Библиографический список

1. ГОСТ 24856-2014. Арматура трубопроводная. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015. 78 с.
2. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2018. 23 с.
3. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013) от 18 ноября 2013 г. 81 с.
4. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011) от 18 октября 2011 г. 66 с.
5. Ball valves types, construction, applications and advantages. URL: <http://www.pipingguide.net> (дата обращения: 01.04.2020).
6. Шаровые краны. URL: <http://www.chsgs.ru> (дата обращения: 01.04.2020).
7. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. М.: Стандартинформ, 2011. 27 с.
8. API Standart 598. Valve Inspection and testing, 2004. 20 p.
9. BS EN 12266-1: 2012. Industrial valves – Testing of metallic valves. Part 1: Pressure tests, test procedures and acceptance criteria – Mandatory requirements. 22 p.
10. BS EN 12266-2: 2002. Industrial valves – Testing of metallic valves. Part 2: Tests, test procedure and acceptance criteria – Supplementary requirements. 16 p.
11. СТ ЦКБА 008-2014. Арматура трубопроводная. Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования. СПб.: Издательство ЗАО «НПФ «ЦКБА». 84 с.

12. СТ ЦКБА 092-2014. Арматура для магистральных трубопроводов. Нормативные нагрузки от трубопровода. Методики расчета и численные значения. СПб.: Издательство ЗАО «НПФ «ЦКБА». 21 с.

13. СТ ЦКБА 008-2014. Арматура трубопроводная. Периодические испытания. Общие требования. СПб.: Издательство ЗАО «НПФ «ЦКБА». 26 с.

14. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.

Сведения об авторах

Осинцев Константин Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», Российская Федерация, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76, e-mail: osintsev2008@yandex.ru

Кузнецов Никита Александрович – инженер ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой», Российская Федерация, 454010, Челябинск, Енисейская улица, дом 47, e-mail: kna@chsgs.ru

Вклад авторов в статью

Осинцев К.В. Разработал методологическое обоснование проведения экспериментов на стендах разрушающего контроля, предложил применять новые коэффициенты надежности и ряды «усиленных» шаровых кранов.

Кузнецов Н.А. Проводил исследования на стенде разрушающего контроля, занимался обработкой результатов экспериментов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Разработка альтернативной терминологии надежности

Николай И. Плотников, Научно-исследовательский проектный институт гражданской авиации «АвиаМенеджер», Российская федерация, Новосибирск
am@aviat.org



Николай И.
Плотников

Резюме. Цель. В настоящей работе составлен краткий исторический обзор эволюции теории надежности техники. Эволюция понятия надежности отображает неразрешенную проблему раскрытия объема и содержания понятия в теории надежности технических объектов. Предлагается логическая проработка и вывод терминов на основании псевдофизической логики высказываний. Представлен подход к решению задачи введением понятия назначения объекта и вывод альтернативных базовых определений надежности. Целью работы является исследование возможности переноса современной теории надежности техники для последующих теоретических разработок и практического применения концепции надежности организаций, социальных групп и человека. **Методы.** Проблема терминологии и многолетнего поиска определений надежности состоит в дефиците гуманитарной проработки исследуемого предмета: филологической, философской, логической. Безусловно, данные исследования должны выполняться специалистами соответствующих наук. Выполним самостоятельную попытку по теме настоящей работы. Автор предлагает структурный подход исследования терминов. Сущность подхода состоит в следующем. Если выявление признаков содержания понятия затруднительно, возможно осуществить структурирование объема понятия. Структурирование осуществляется через универсальные базы наблюдения: время, пространство, группы и их комбинации: время-пространство, время-группа, пространство-группа. Для этого необходима специальная совокупность терминов. Вводится категория «назначение» как свойство объекта. Понятие назначения обладает большим объемом, является более абстрактным, чем понятие надежности. Отметим, что стандарты качества разрабатывались в концепции назначения как соответствие характеристик объекта требованиям. Отечественные стандарты отдавали предпочтение концепции надежности, где нормативные описания, выдвигаемые определения, такие как «способность выполнять требуемые (заданные) функции, способность (объекта) функционировать», «функционировать, как и когда требуется», «функциональная надежность», «параметрическая надежность», «требования, установленные документацией» просто обобщаются категорией назначения. Данные описания есть не что иное, как указание на свойство назначения объекта. Например, способность объекта перемещаться в пространстве – это свойство назначения, а не надежности. Таким образом, все терминологические поиски стандартизации надежности демонстрируют необоснованное сведение понятия назначения к понятию надежности. Введение категории назначения решает проблемы терминологии в теории надежности. Автор предлагает следующее определение понятия назначения. Назначение – свойство объекта, обусловленное естественным происхождением существования или создаваемого проектируемого применения. Надежность – совокупность состояний как мера соответствия назначению объекта. **Заключение.** Эволюция содержания понятия надежности техники отображает неразрешенную проблему терминологии в теории надежности технических объектов. Проблема терминологии в значительной степени состоит в нечетком использовании и смешении онтологических терминов. Вывод данных терминов на основании псевдофизической логики и введение категории назначения объекта является основным результатом настоящей работы для введения альтернативной непротиворечивой структуры и содержания терминов надежности. Предлагаемый подход рекомендуется использовать для переработки существующих стандартов.

Ключевые слова: надежность, терминология, онтологические термины, свойство, состояние, событие.

Для цитирования: Плотников Н.И. Разработка альтернативной терминологии надежности // Надежность. 2020. №3. С. 21-26. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-21-26>

Поступила 25.10.2019 г. / После доработки 15.05.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

1. Введение

Нормативные описания надежности разработаны для техники, технических изделий, машин и устройств. Исследования надежности связываются с теорией безопасности и рисков жизнедеятельности. В настоящей работе исследуется проблема терминологии в стандартизации надежности. Целью работы является исследование возможности переноса современной теории надежности техники для последующих теоретических разработок и практического применения концепции надежности организаций, социальных групп и человека.

2. Проблема терминологии теории надежности техники

Со времени введения понятия надежности техники и появления первых документов с 1950-х годов ведется обсуждение проблем стандартизации терминологии в области надежности, особенно относительно установления основного термина «надежность». Нормативная база включает отечественные и межгосударственные стандарты: ГОСТ 13377-67; ГОСТ 13.337-75; ГОСТ 27 002-83; ГОСТ 27.002-89; ГОСТ 27.002-2015; ГОСТ Р 51901.3-2007 (МЭК 60300-2: 2004); ГОСТ ISO 9000-2011; ГОСТ Р 27.002-2009. Понимание связи надежности рассматривается значительно шире в стандартах, относящихся к терминологии качества, риска, безопасности: ГОСТ 15467-79; ГОСТ Р 51901-2002; ГОСТ Р 51897-2002; ГОСТ Р 51898-2002; ГОСТ 51901.14-2005 (МЭК 61025: 1990); ГОСТ Р 51901.12-2007; ГОСТ Р 53480-2009; ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011.

Смысловые описания понятия надежности в документах возможно свести к следующему: «... свойство системы выполнять задание, ... заданные функции, ... установленные показатели в заданных пределах, ... параметров, характеризующих способность выполнять требуемые (заданные) функции...». Сюда же можно отнести смысловое описание в стандартах МЭК по надежности (dependability): «способность (объекта) функционировать как и когда требуется» (ability (of an item) to perform as and when required).

Исходным описанием, раскрывающим содержание и объем понятия надежности, является понятие *исправности* технического устройства. Поскольку машины работают и с частичными неисправностями, это создает нечеткость в области определения [исправность, неисправность]. Введение термина «отказ» определяет невозможность использования технического изделия. Отсюда возникло определение надежности понятием *безотказности* и дополнительно: долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости. Следующим введением является понятие *работоспособности*. ГОСТ Р 27.002-2009 надежность определяет понятием *готовности*, ГОСТ 27.002-2015 [3] – понятием *способности*. Таким образом, эволюция терминологии за

период с 1950-х годов до настоящего времени имеет примерно следующую последовательность замены понятия надежности другими обобщающими «объясняющими» понятиями:

$$\text{НАДЕЖНОСТЬ} \cong \\ < (\text{исправность}) \rightarrow (\text{безотказность}) \rightarrow (\text{работоспособность}) \rightarrow (\text{готовность}) \rightarrow (\text{способность}) >.$$

Подробный состав и исторический анализ нормативных документов по терминологии надежности представлен авторами работ [1, 2]. По мнению автора настоящей работы, введение стандарта [3] не разрешает проблемы стандартизации терминологии надежности. Рассмотрим базовые определения этого стандарта.

Раздел 3 «Термины и определения», пункт 3.1 «Основные понятия»: «3.1.5. **надежность**: Свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Прим. 2. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств». Ниже в стандарте даны определения указанных этих свойств. В п. 3.2 «Состояния» вводятся определения: «3.2.1 исправное состояние (исправность): ..., 3.2.2 неисправное состояние (неисправность): ...». То есть, указанные свойства рассматриваются и как состояния.

В п. 3.4 «Отказы, дефекты, повреждения» термины «отказ» и «повреждение» определяются как *события*, а «дефект» – как *несоответствие* объекта требованиям, установленным *документацией*. «Причина отказа вызывается», а «последствия отказа обуславливаются» в одновременной и совместной совокупности: *явления, процессы, события и состояния*. В п. 3.5.5 восстановление: рассматривается и как процесс, и как событие. Подобных особенностей в стандарте множество.

Понятие *надежность*, без сомнения, является абстрактным, то есть, категорией. Именно это обстоятельство является основной причиной проблемы терминологии и постоянной необходимости раскрывать понятие надежности через другие понятия. Дело усугубляется тем, что используются сложносоставные слова, такие как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, восстанавливаемость и другие, которые еще более затрудняют разрешение проблемы. В логике известно, что определение понятия, которое ведет к термину, осуществляется по содержанию (признакам), а не по объему понятия. Если выявление признаков удается, то определение считается сильным, количественным, пригодным для вычислений свойств объектов. В противном случае, определение сводится к простой замене другим понятием или несколькими понятиями («надежность – это безотказность» и т. п.). То есть, определение

термина является описательным, слабым и непригодным для количественного исчисления. По нашему мнению, выявление признаков *содержания* понятия надежности непосредственно, «напрямую» не представляется возможным.

Проблема терминологии и многолетнего поиска определений надежности состоит в дефиците гуманитарной проработки исследуемого предмета: филологической, философской, логической. Безусловно, данные исследования должны выполняться специалистами соответствующих наук. Выполним самостоятельную попытку по теме настоящей работы.

3. Исследование терминологии надежности

Филологический аспект. Филологическое рассмотрение понятия надежности возможно в словарном и лексико-грамматическом аспектах. Словарные поиски слова «надежность» в технической литературе предпринимаются нередко и являются малопродуктивными. Как правило, определения являются описательными и повторяют содержание, установленное в технических документах. По энциклопедическим, специальным, толковым словарям возможно как-то раскрыть объем понятий, но выявление признаков содержания, что необходимо для вывода терминов, является безуспешным.

В лексико-грамматическом аспекте морфологическая структура слова *надежность* состоит из префикса -на-, корня-морфемы -деж-, и суффикса -ность- (или двух суффиксов -н- и -ость-). Лексико-грамматический разряд слова *надежность* является суффиксальным отвлеченным (абстрактным) существительным, называющим качество (свойство) или состояние предмета, мотивированное прилагательным *надежный* со значением отвлеченного признака. «Существительные с суффиксом, представленным морфом -ность-, со значением «носитель признака» называют отвлеченное состояние [4, с. 164]; ... со значением отвлеченного признака, называют состояние с отвлеченным значением признака, свойства» [4, с. 177]. Теоретически установлено, что существительные мотивируются (управляются) прилагательными в парах: «надежный – надежность». Из данного контекста и хрестоматийного цитирования невозможно установить, что именно называет существительное «надежность» и прилагательное «надежный» – свойство, состояние, признак предмета. Таким образом, попытки филологических поисков также не продвигают к решению задачи.

Анализ онтологических терминов в логике. Рассмотрим, как устанавливаются термины, определения и сводимость терминов в построении в логике. Отвлеченные понятия (категории) иначе называют онтологическими терминами (время, пространство, начало, конец, причина), которые затем уточняются (определяются) терминами логики. Из теории понятия, раздела клас-

сической логики, известно, что объем и содержание категорий раскрываются наиболее трудно и сложно. Более того, самые абстрактные категории, такие как сущность, вещь, качество и подобные вообще не поддаются обобщению по объему и выявлению признаков по содержанию.

Сначала устанавливают термин (объект). Затем устанавливают предикат (*признак*). Между термином и предикатом существуют отношения. «Предикат «красный» (и соответствующий «красности» признак) является одноместным – одинарным. Предикат «больше» (и признак величины «больше») является двуместным – бинарным. Предикат с отношением ≥ 2 является энместным – энарным. Одноместные признаки называют свойствами. Энместные признаки называют отношениями» [5, с. 61]. То есть, высказываниями с многоместными предикатами. Сведение терминов к простым является важнейшей задачей логического анализа научных знаний. «Определить термин – установить его значение, используя другие термины, значение которых уже известно» [5, с. 228]. Термины в построении разделяются на исходные и производные.

D-1. Термин t^1 является исходным относительно термина t^2 , а t^2 , является производным относительно t^1 если и только если t^1 используется при образовании (при установлении значения) t^2 » [5, с. 62].

Образование (введение в использование) и определение онтологических терминов является важнейшей частью задачи настоящей работы относительно терминов «свойство», «состояние», «событие», «ситуация», «процесс».

Категории «свойство» и «состояние». Определения понятий «свойство» и «состояние» в стандартах по надежности техники отсутствуют. Между тем, различия данных понятий нетривиальны. По Аристотелю, «обладанием или *свойством* (*hexis*) называется проявление некоторой деятельности того, что обладает, и того, чем оно обладает; такое расположение по отношению к другому, например, здоровье есть некоторое свойство»..., «преходящим свойством или *состоянием* (*pathos*) называется свойство, по отношению которого возможны изменения; разного рода проявления этих свойств и применения их» [4, с. 244]. Свойство есть качество, состояние есть количество.

Примеры. (1) Тело обладает свойством тяжести и может пребывать в состояниях движения и покоя. (2) Свойство воды проявляется в состояниях жидком, твердом, газообразном (парообразном), кристаллическом. Возможно сказать, что вода обладает «комплексным свойством» и проявляет себя в «подсвойствах» жидкости, льда, пара, снега. Однако, объяснение состояний предпочтительнее.

Таким образом, в существующих стандартах определения надежности как *свойства* объекта – вопрос дискуссионного выбора. С нашей точки зрения, понятие надежности является *состоянием* объекта. Обоснования данного выбора и утверждения изложены ниже.

Категории «событие», «процесс». В стандарте [8] введены следующие определения:

113-01-04 событие (event): То, что имеет место, происходит, наступает в произвольной точке пространства – времени;

113-01-06 процесс (process): Последовательность во времени взаимосвязанных событий.

Данные определения не удовлетворяют поисковым целям настоящей работы, поскольку являются описательными, слабыми. В научной литературе определения рассматриваемых терминов нередко отсутствуют, не сводимы друг другу или отождествляются. Достаточно заметить, что в книге Д.А. Поспелова [9] «Ситуационное управление» определение понятия «ситуация» отсутствует. По А.А. Зиновьеву, «Если X есть высказывание, то $\downarrow X$ есть термин события (или состояния). События существуют или не существуют в некоторой данной или любой ситуации» [5, с. 166]. Здесь, налицо отождествление терминов «событие» и «состояние» и поясняется, что ситуация задается путем указания следующего: а) пространственная область, б) время, в) событие или множество событий, г) комбинирование (а, б, в) явно; или ясна из контекста. Однако, из изложенного логического построения непосредственно не выводятся определения терминов «событие», «ситуация» и другие. По нашему мнению, определения могут быть выведены только псевдофизическим (псевдологическим) путем.

Вывод терминов псевдофизической логики. Псевдофизическая логика (ПЛ) (термин Д.А. Поспелова [9]) отношений времени, пространства, причинности и их сочетаний позволяет сформулировать определения, необходимые для последующего изложения. Пусть $|O_i|$ – термин, наблюдаемый объект. Представляем следующие определения и примеры действительности.

D-2. Переходы в пространствах отображения объекта называются *восходящими*, если осуществляются в направлении большей мерности: $O_i : s_i s_{i+1}, \dots, s_{i+k}$, $i \in \overline{1, n}$, где n – число состояний объекта.

Пример: момент отрыва на взлете летательного аппарата (ЛА) и его переход к движению в трехмерном пространстве.

D-3. Переходы в пространствах отображения объекта называются *нисходящими*, если осуществляются в направлении меньшей мерности: $O_i : s_i s_{i-1}, \dots, s_{i-k}$, $k \in \overline{1, n-1}$ число переходов.

Пример: момент приземления на посадке ЛА и его переход к движению в двухмерном пространстве.

D-4. Переходы в пространствах отображения объектов называются *симметричными*, если осуществляются в любом их двух направлений одной (большей или меньшей) мерности: $O_i : s_i s_{i\pm 1}, \dots, s_{i\pm k}$.

Пример: а) момент разбега ЛА на скорости принятия решения о продолжении или прерывании взлета; б) момент принятия решения на высоте принятия решения (ВПР) о посадке или уходе на второй круг.

D-5. Отображения объектов в восходящих переходах называются *разверткой* данных описания объекта.

D-6. Отображения объектов в нисходящих переходах называются *сверткой* данных описания объекта.

Вывод определений терминов «событие», «ситуация» возможен только на соединении временной и пространственной логики. Полный вывод онтологических терминов возможен только на связи временной, пространственной и следственно-причинной (каузальной) логики, что требует дополнительных исследований.

D-7. Отображение объекта в переходах от пространства к пространству s_i в момент времени t_i называем *событием*: $e_i : (t_i, s_i, s_{i\pm 1}, \dots, s_{i\pm k})$, где e_i – оператор отображения объекта при переходе от пространства к пространству.

Событие, множество E , $e_i \in E$, является связью ПЛ отношений времени и пространства $e_i(t_i, s_i)$.

D-8. Совокупность связей ПЛ отношений времени и пространства называем ситуацией.

В вышеизложенных определениях и примерах: ситуация – совокупность (начало движения и остановки объекта, взлеты и посадки, принятия решений) событий в восходящих, нисходящих, симметричных переходах.

В стандарте [8] определение понятия «состояние» отсутствует. Вводим следующее определение.

D-9. Состояние – параметр, совокупность параметров свойств объекта в наблюдаемый интервал времени («113-01-10 интервал времени (time interval): Часть оси времени, ограниченной двумя мгновениями» [8]).

В данном определении понятие состояния определяется как **параметр соизмерения** показателей (совместного и одновременного). Например, скорость транспортного средства *соизмеряется* двумя показателями: расстояния и времени.

4. Решение задачи разработки терминологии надежности

Структурный подход. Автор предлагает структурный подход исследования терминов. Сущность подхода состоит в следующем. Если выявление признаков *содержания* понятия затруднительно, возможно осуществить структурирование *объема* понятия. Структурирование осуществляется через универсальные базы наблюдения: время, пространство, группы и их комбинации: время-пространство, время-группа, пространство-группа [6]. Эмпирически установлено, что надежность объекта любой природы изменяется во времени по этапам, так называемого, U-образного профиля: вход (ниже нормы), нормализация, старение (ниже нормы). Следовательно, надежность любого объекта можно достоверно наблюдать (измерять, оценивать) по U-профилю. Для этого необходима специальная совокупность терминов.

Предлагаем строгую иерархическую структуру терминов. Объект имеет наименование (name). Назначение (appointment) объекта называет (устанавливает) его свойство (property). Свойство наблюдается (измеряется, оценивается) в состояниях (state) или (параметрах)

(parameter). Состояния образуются совокупностью показателей (indicator). Показатели устанавливаются по значениям (value). Для вычислений свойств объекта устанавливается информационная единица (ИЕ) энтарной пятеркой:

{1 – назначение \subseteq 2 – свойство \subseteq 3 – состояние (параметр) \subseteq 4 – показатель \subseteq 5 – значение}.

D-10. ИЕ является точной (точечной), если подмножество, соответствующее значению, является одноточечным и его нельзя разбить на части.

D-11. Точность связана со значением.

Каждый элемент ИЕ наблюдается (выявляется, определяется) по признакам (sign). ИЕ имеет иерархию, исключает нечеткое толкование и произвольное применение терминов. Представленный комплекс терминов является универсальной моделью, может применяться для вычислений состояний объектов любой природы. Структура терминов представлена на схеме в работе [10, с. 91].

Структурный подход предполагает также поиск и установление обобщающего, более абстрактного понятия, по отношению к исследуемому. По нашему мнению, подобным понятием является категория *назначения*. Основанием для данного утверждения является следующее.

Категория «назначение» как свойство объекта. Понятие назначения обладает большим объемом, является более абстрактным, чем понятие надежности. Отметим, что стандарты качества (ISO) разрабатывались в концепции назначения как соответствие характеристик объекта требованиям (ГОСТ ISO 9000-2011: «Качество: степень соответствия совокупности и присущих характеристик требованиям»).

Отечественные стандарты отдавали предпочтение концепции надежности, где нормативные описания, выдвигаемые определения, такие как «способность выполнять требуемые (заданные) функции, способность (объекта) функционировать», «функционировать, как и

Табл. 1. Образец разработки альтернативной терминологии теории надежности техники

ГОСТ 27.002-2015	Альтернативные определения
3.2 Состояния	Состояния надежности
3.2.1 исправное состояние (исправность): Состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в документации на него	Исправное состояние: состояние, соответствующее назначению объекта при наличии допустимых повреждений.
3.2.2 неисправное состояние (неисправность): Состояние объекта, в котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на него	Неисправное состояние: состояние, не соответствующее назначению объекта из-за дефектов.
3.2.3 работоспособное состояние: Состояние объекта, в котором он способен выполнять требуемые функции	Работоспособное состояние: состояние, соответствующее назначению объекта.
3.2.4 неработоспособное состояние: Состояние объекта, в котором он не способен выполнять хотя бы одну требуемую функцию по причинам, зависящим от него или из-за профилактического технического обслуживания	Неработоспособное состояние: состояние, не соответствующее назначению объекта.
3.4 Отказы, дефекты, повреждения	События нарушения надежности
3.4.1 отказ: Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта	Отказ: событие нарушения работоспособного состояния объекта.
3.4.2 дефект: Каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией	Дефект: событие нарушения исправного состояния объекта.
3.4.3 повреждение: Событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния	Повреждение: событие нарушения исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния
3.5 Техническое обслуживание, восстановление и ремонт	Процессы восстановления надежности
3.5.2 техническое обслуживание; ТО: Комплекс организационных мероприятий и технических операций, направленных на поддержание работоспособности (исправности) объекта и снижение вероятности его отказов при использовании по назначению, хранении и транспортировании.	Техническое обслуживание; ТО: процесс, направленный на сохранение работоспособного и исправного состояний объекта.
3.5.5 восстановление: Процесс и событие, заключающиеся в переходе объекта из неработоспособного состояния в работоспособное.	Восстановление: процесс, направленный на переход объекта из неработоспособного состояния в работоспособное состояние.
3.5.9 ремонт: Комплекс технических операций и организационных действий по восстановлению исправного или работоспособного состояния объекта и восстановлению ресурса объекта или его составных частей.	Ремонт: процесс, направленный на переход объекта из неисправного состояния в работоспособное состояние.

когда требуется», «функциональная надежность», «параметрическая надежность», «требования, установленные документацией» просто обобщаются категорией назначения. Данные описания есть не что иное, как указание на свойство назначения объекта. Например, *способность* объекта перемещаться в пространстве – это свойство назначения, а не надежности.

Если автомобиль «стоит в пробке» (пример, который приводят авторы работы [2]), не предназначен быть еще и вертолетом, или самолетом как в фильме «Фантомас», это заложено в проекте его назначения – перемещение в двухмерном пространстве. Поэтому абсолютно надежный автомобиль будет стоять в пробке «надежно» и неподвижно.

Таким образом, все терминологические поиски стандартизации надежности демонстрируют необоснованное сведение понятия назначения к понятию надежности. **Введение категории назначения решает проблемы терминологии в теории надежности.** Автор предлагает следующее определение понятия назначения.

D-12. Назначение – свойство объекта, обусловленное естественным происхождением существования или создаваемого проектируемого применения.

Свойство естественного происхождения: назначение «щуки в озере, чтоб карась не дремал».

Данное определение вводится для простого объекта. Назначение сложного объекта допустимо рассматривать из элементов свойств. Если принять выдвигаемую точку зрения, что понятие назначения является свойством, то все производные понятия являются состояниями. Подобными состояниями в контексте настоящей работы принимаются: надежность, безопасность (защищенность), риск, эффективность и другие.

Вывод альтернативной терминологии теории надежности техники. Исходя из вышеизложенного содержания представим пример (образец) разработки альтернативной терминологии теории надежности. Предлагаются только базовые определения. Полная переработка стандарта не входит в задачу настоящей работы.

D-13. Надежность – совокупность состояний как мера соответствия назначению объекта. Альтернативные определения изложены в следующем содержании (табл. 1).

Образец разработки терминологии исключает тождественное использование терминов типа «исправное состояние (исправность)». Полагаем, что термины событий и процессов должны быть подвергнуты тщательному исследованию в филологическом и логическом аспектах для установления четкой различимости. Так вместо термина «дефект» возможно использование термина «поломка» и т.п.

5. Заключение

Эволюция содержания понятия надежности техники отображает неразрешенную проблему терминологии в

теории надежности технических объектов. Проблема терминологии в значительной степени состоит в нечетком использовании и смешении онтологических терминов. Вывод данных терминов на основании псевдофизической логики и введение категории назначения объекта является основным результатом настоящей работы для введения альтернативной непротиворечивой структуры и содержания терминов надежности. Предлагаемый подход рекомендуется использовать для переработки существующих стандартов.

Библиографический список

1. Нетес В.А., Тарасьев Ю.И., Шпер В.Л. Актуальные вопросы стандартизации терминологии в области надёжности // Надежность. 2014. № 2. С. 116–119.
2. Нетес В.А., Тарасьев Ю.И., Шпер В.Л. Как нам определить что такое «надёжность» // Надежность. 2014. № 4. С. 3–14.
3. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 24 с.
4. Русская грамматика. М.: Наука, 1980. Т. 1. 784 с. Т. 2. 710 с.
5. Зиновьев А.А. Логика науки. М.: Мысль, 1971. 279 с.
6. Аристотель. Политика. Метафизика. Аналитика [пер с древнегреческого]. М.: Эксмо; СПб.: Мидгард, 2008. 960 с.
7. Клир Джордж. Системология. Автоматизация решения системных задач М.: Радио и связь, 1990. 544 с.
8. ГОСТ ИЕС 60050-113-2015. Международный электротехнический словарь. Часть 113. Физика в электротехнике. М.: Стандартинформ, 2016. 51 с.
9. Пospelов Д.А. Ситуационное управление. М.: Наука, 1986. 286 с.
10. Плотников Н.И. Основания теории надежности человека-оператора (пилота) // Надежность. 2015. № 2 (53). С. 90–93.

Сведения об авторе

Плотников Николай Иванович – кандидат технических наук, генеральный директор Научно-исследовательского проектного института гражданской авиации «АвиаМенеджер», Российская федерация, Новосибирск, e-mail: am@aviam.org

Вклад автора в статью

Автором выполнен анализ стандартов надежности техники. Выполнен словарный, лексико-грамматический и логический анализ понятия надежность. Предложено новое альтернативное определение понятия надежности и вариант переработки стандарта.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Опыт европейских железнодорожных компаний в управлении надежностью и безопасностью технических активов на основе современных цифровых технологий

Алексей М. Замышляев, АО «НИИАС», Российская Федерация, Москва
A.Zamyshlaev@vniias.ru



Алексей М.
Замышляев

Резюме. Цель работы – анализ и рассмотрение опыта железнодорожных компаний Евросоюза в вопросах построения системы управления техническими активами на основе современных цифровых технологий. Железнодорожные компании заинтересованы в разработке эффективных стратегий технического содержания и ремонта, позволяющих наращивать объемы перевозок с высоким уровнем безопасности и надежности, опираясь на «Большие данные» (Big Data) диагностических систем. **Методы.** Проведен сравнительный анализ лучших практик железнодорожных компаний Евросоюза, сопоставлены применяемые железнодорожными компаниями цифровые технологии, а также сделан обзор наиболее известных программных решений, предлагаемых на рынке для построения системы управления активами. **Результаты/Выводы.** Железнодорожным компаниям придется приложить значительные усилия, чтобы те огромные затраты, которые они сегодня вкладывают в цифровизацию, не пропали даром, т.к. их внедрение натолкнется на сопротивление сложившейся системы хозяйствования и распределения ответственности между организационными уровнями управления внутри компаний. Обобщенная архитектура европейской информационной платформы управления активами представляет собой довольно разнообразную палитру применяемых IT-решений, что представляет собой большую проблему, так как любое внесение изменений в работу программного комплекса, требует больших временных, организационных и финансовых ресурсов. В этой связи наибольшего успеха достигают компании, вложившиеся в разработку собственной цифровой платформы управления активами.

Ключевые слова: управление техническими активами, надежность, безопасность, риск, железнодорожный транспорт, инфраструктура железнодорожной компании, техническое содержание, поддержка принятия решений, цифровые технологии, программные средства, УРРАН.

Для цитирования: Замышляев А.М. Опыт европейских железнодорожных компаний в управлении надежностью и безопасностью технических активов на основе современных цифровых технологий // Надежность. 2020. №3. С. 27-33. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-27-33>

Поступила 11.06.2020 г. / После доработки 26.06.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

1. Введение

Для любой железнодорожной компании выработка эффективной стратегии технического содержания инфраструктуры и подвижного состава в рамках приемлемого уровня затрат является одной из главных задач менеджмента. Особенно это актуально в динамически изменяющихся условиях послепандемного мира и низких цен на нефть, когда одни наработанные экономические связи между государствами заменяются другими, с учетом новых потребностей общества в товарах первой необходимости, медикаментах и оборудовании, изменениями конъюнктуры рынков. Образуются новые логистические цепочки поставок и формируются, соответственно, транспортные маршруты, которые ранее были не задействованы. В этих условиях возможен рост спроса на перевозки в одном направлении и резкое снижение в другом. Такая диспропорция может потребовать от железнодорожных компаний решения значительного числа достаточно серьезных проблем, в частности, они должны вкладывать крупные финансовые средства в реновацию и наращивание своей инфраструктуры, поддерживать ее в надежном состоянии и при этом обеспечивать растущий объем перевозок. В связи с этим железнодорожные компании заинтересованы в разработке эффективных стратегий технического содержания и ремонта, позволяющих наращивать объемы перевозок с высоким уровнем безопасности и надежности при допустимом уровне риска, опираясь на так называемые «Большие данные» (Big Data) диагностических систем. Для того, чтобы эффективно управлять железнодорожной инфраструктурой, подвижным составом, нужно знать их текущее техническое состояние и уметь предвидеть их состояние в перспективе.

2. Состояние вопроса цифровизации технического содержания инфраструктуры железных дорог Евросоюза

В настоящее время много говорится о необходимости внедрения на железнодорожном транспорте прорывных, в том числе цифровых, технологий. Наряду с очевидными преимуществами, цифровизация потенциально способна привносить в работу железнодорожных компаний значительные проблемы. В случаях, когда неверно выбрана степень автоматизации, либо оказывается, что при формировании базы данных технических активов использованы неверные параметры, либо, что еще хуже, в компании нет объективной информации о текущем реальном состоянии технических средств, а имеющаяся информация представляет собой лишь бюрократическую отчетность, формируемую псевдоавтоматизированными системами, работающими по описанным нанятыми бизнес-консультантами процессам.

Немаловажно представлять также размер предполагаемых финансовых затрат. Усовершенствованные технологии сбора, передачи и анализа данных могут значительно поменять в ближайшем будущем правила технического содержания, принятые сегодня на железнодорожном транспорте и базирующиеся в своей основе на норматив-

ном подходе. Системы мониторинга технических средств инфраструктуры, подвижного состава становятся более доступны, они генерируют огромные объемы данных, которые стали называть Big Data, интернет вещей (IoT), интернет услуг (IoS), машинное самообучение – все эти понятия активно занимают свои места в цифровых стратегиях развития железнодорожного транспорта на ближайшую перспективу. Сегодня предметом актуальных исследований ученых становится поиск компромисса между частотой, затратами на обработку, скоростью передачи данных и энергопотреблением таких мультисенсорных систем. В качестве небольшого примера можно привести систему DIANA [1], созданную компанией infraView для диагностики и анализа компонентов инфраструктуры *железных дорог Германии (DB)*. В 2016 г. к ней было подключено более 6500 стрелочных переводов, в 2019 г. – уже 25 тысяч, а в 2020 г. система контролировала 30 тысяч стрелочных переводов. Такие интеллектуальные системы уже сегодня начинают генерировать очень большие объемы данных. Их передача, хранение, обработка и анализ станут важными задачами, которые потребуются решать в ближайшие годы. Следовательно, возникает вопрос на сколько правильно эти «Большие данные» консолидируются, анализируются и используются железнодорожными компаниями? Ведь используя прогнозирование, становится возможным судить, насколько приемлемыми являются различные уровни риска, и принимать меры, которые раньше могли показаться излишне рискованными. Например, можно сократить резервирование и понизить стоимость технического обслуживания, если лицо, принимающее решение, будет считать допустимым риск, когда отдельная колесная пара достигает предельного параметра до следующего запланированного ремонта, хотя раньше он ее немедленно отправил бы в ремонт. Однако балансируя на уровне рисков следует понимать, что лицам, принимающим решение, придется балансировать и на уровне ответственности за принятые решения, связанные с риском. Для этого железнодорожным компаниям придется приложить значительные усилия, чтобы те огромные затраты, которые они сегодня вкладывают в цифровизацию, не пропали даром, т.к. их внедрение натолкнется на сопротивление сложившейся системы хозяйствования и распределения ответственности между организационными уровнями управления внутри компаний.

В этом смысле позитивный опыт, который может оказаться полезным для других железнодорожных компаний, накоплен Федеральными *железными дорогами Австрии (ÖBB)*. Компания ÖBB стремится занять лидирующее положение по внедрению стандарта ISO 55000 на железнодорожном транспорте, что они успешно доказывают на практике, получив первыми среди европейских железнодорожных компаний в феврале 2019 года сертификат по управлению активами ISO 55000 и перейдя к обслуживанию пути на следующих принципах:

- периодическая полная реновация пути;
- применение регламента текущего содержания, сочетающего меры профилактические и основанные на

информации о фактическом состоянии пути, полученной в процессе его регулярного инспектирования;

- отказ от постоянно действующих ограничений скорости на основных направлениях железнодорожной сети;
- реабилитация земляного полотна по мере необходимости на магистралях с напряженным перевозочным процессом и в местах расположения стрелочных переводов.

Специалистами компании разработан единый сетевой план управления активами, который детализирован по техническим департаментам.

Также администрация ÖBB уделяет большое внимание вопросам информатизации системы управления активами как основному инструменту внедрения данной методологии. Так, за период с 2013 по 2018 гг. руководство ÖBB выделило более 12 млн евро на разработку IT-платформы. В рамках проведенной работы австрийскими специалистами была осуществлена интеграция 360 различных баз данных в одну базу данных для построения системы управления активами инфраструктуры.

Итальянские железные дороги (RFI) стали второй европейской железнодорожной компанией, которые прошли процедуру сертификации системы управления

активами компании. Это первая и единственная сертификация, полученная в Италии, аккредитованная Italcertifier через Accredia для управления материальными активами. Стоимость сертификации для RFI составила более 40 000 Евро. В рамках прохождения данной процедуры специалистами RFI, по словам руководителя проекта Donatella Fochesato, были описаны 104 процесса и 387 подпроцессов компании.

Сертификация является частью более широкой стратегии, направленной на дальнейшее обеспечение эффективного управления сетью и создание ценности как в Компании, так и по отношению к заинтересованным сторонам.

Ирландские железные дороги (Irish Rail) инвестировали в создание информационной системы управления активами более 20 млн евро.

Бельгийский национальный железнодорожный перевозчик (Infrabel) для построения информационной системы управления активами потратил более 10 млн евро.

Общая информация об используемых цифровых платформах по управлению активами (EAMS – Enterprise Asset Management System) на некоторых зарубежных железнодорожных компаниях представлена в табл. 1.

Табл. 1. Примеры EAMS систем на зарубежных предприятиях железнодорожного транспорта

Организация	Вид системы EMS или вспомогательной системы по ТООП	Год начала эксплуатации	Текущая оценка удовлетворенности от используемого ПО
IrishRail	Maintenance Management System (IT-tool): SAP PM	С начала 2000-х гг.	Есть предложения по доработке функционала, но достаточно высокая стоимость работ SAP не позволяет компании в рамках контракта по сопровождению включить эти работы в реализацию. Прорабатываются планы по переходу на IBM Maximo к 2025г., но трудно отказываться от наработанных решений, большие организационные и технические сложности при переходе на другую IT-платформу
Infrabel, Бельгия	SAP	-	-
Network Rail, Англия	ELLIPSE (не собственная, ABB)	2004 гг.	Замены не планируют, альтернативы часто предлагаются, но было бы трудно поменять в силу организационных сложностей, у других систем есть свои недостатки
ADIF, Испания	ADIF – собственная система для путей и прочей инфраструктуры (не для станций)	-	Стремятся доработать ее и интегрировать с другими производственными системами в единую платформу управления
VAYLA, Финляндия	Raid-e systems (собственная разработка) RATKO – главная база данных для железнодорожной инфраструктуры RAIKU – средство составления отчетов для текущего содержания (для ТООП) RYHTI – средство планирования обновления и модернизации инфраструктуры RAHTI – средство планирования материальными потоками	Начало работ 2016г	Еще внедряется, выводы делать рано
ÖBB, Австрия	Системы собственной разработки «ARGUS» для планирования ресурсов «MAZE» для проведения проверок и согласования документации «AUER» для выставления счетов на оплату услуг за техническое обслуживание	С начала 2000-х гг.	Системы постоянно совершенствуются. Обсуждался переход на SAP, но он оказался слишком дорогим.

Обобщенная архитектура европейской информационной платформы управления активами представлена на рис. 1 (автор Jude Carey, Irish Rail). Как видно, она представляет собой довольно разнообразную палитру применяемых IT-решений, что по свидетельству руководителей проектов, отвечающих за внедрение системы управления активами в компании, представляет собой большую проблему, так как любое внесение изменений в работу программного комплекса требует больших временных, финансовых ресурсов, и бесконечных согласований с IT-департаментом и представителем фирмы-разработчика.

3. Проекты Международного союза железных дорог (МСЖД), опыт и лучшие практики международных многопрофильных консалтинговых организаций

Международный союз железных дорог, учитывая важность проблемы оценки необходимых расходов на техническое содержание и обновление железнодорожной сети, уже в 1996 г. приступил к сбору и анализу соответствующих данных в рамках проекта Lasting Infrastructure Cost Benchmarking (LISB) [2]. Участие в этом проекте на протяжении более 20 лет принимают инфраструктурные компании 14 европейских стран. Цель проекта состоит в том, чтобы определить уровни затрат железнодорожных компаний на поддержание и обновление существующей инфраструктуры, а также выделить факторы, влияющие на эти затраты. Было установлено, что более высокая загрузка железнодорожной сети в некоторых случаях увеличивала расходы на техническое обслуживание примерно на 5%, а на обновление более чем на 16%. Проект LISB стал отправной точкой для накопления статистических данных по техническому содержанию инфраструктуры, формированию и углубленному анализу лучших практик железных дорог и обмену опытом между участниками.

В 2007 году в МСЖД была образована рабочая группа по вопросам управления активами – Asset Management

Working Group (AMWG), куда вошли представители 10 европейских железнодорожных компаний. Российские специалисты присоединились к участию в работе этой группы в 2016 году. Основными направлениями деятельности рабочей группы являются:

- ведение исследовательской работы по управлению активами для решения комплекса задач развития железнодорожного транспорта;
- выбор стратегии управления активами для предприятий железнодорожной отрасли;
- определение факторов, сопутствующих оптимизации методов управления активами;
- совершенствование существующих методик управления активами;
- обмен передовым опытом в области управления активами на железнодорожном транспорте;
- унификация методов и разработка единых подходов, рекомендаций и стандартов для железнодорожной отрасли по применению технологий эффективного управления и поддержки принятия решений.

В рамках работы Группы в 2010 г. был разработан документ «Руководство по применению принципов управления ресурсами в организациях по эксплуатации железнодорожной инфраструктуры» (Guidelines for the Application of Asset Management in Railway Infrastructure Organizations) [3], который регулярно обновляется по итогам ежегодной работы Группы. В 2015 году был опубликован Краткий список (short list) ключевых факторов затрат в управлении железнодорожными активами (Key Cost Drivers in Railway Asset Management) [4]. На основе статистических данных участников проекта было определено влияние различных факторов затрат (так называемых драйверов стоимости) на стоимость технического обслуживания, ремонта и обновления инфраструктуры. Было отмечено, что существуют количественные и каче-

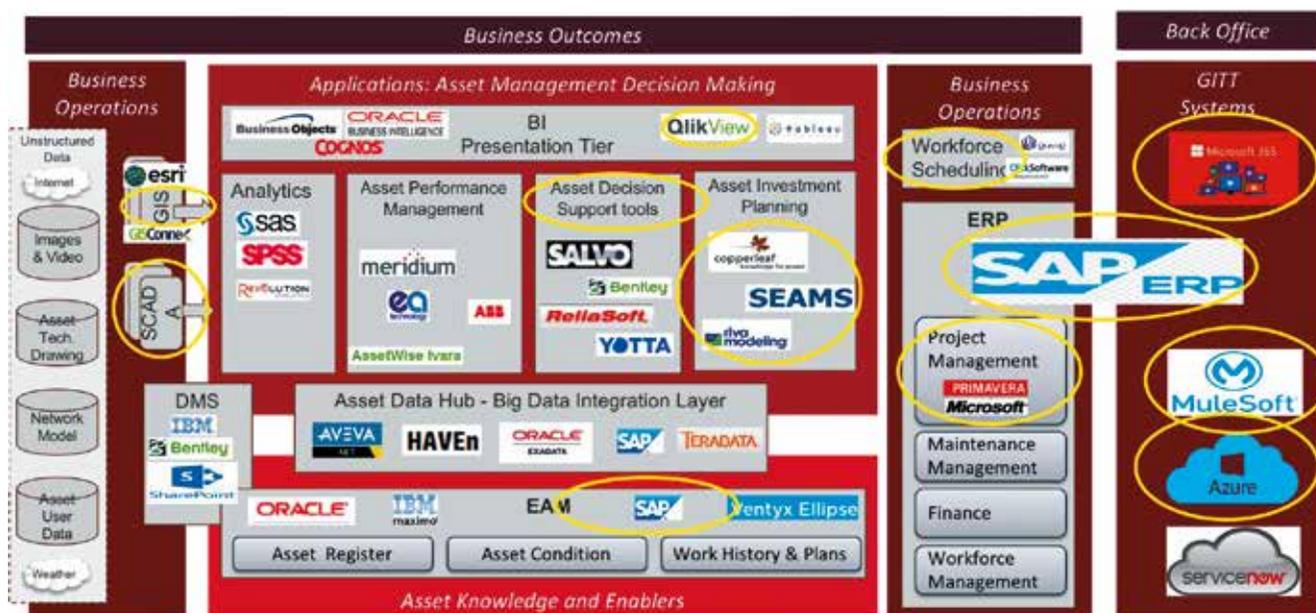


Рис.1. Обобщенная архитектура европейской информационной платформы управления активами (автор Jude Carey, Irish Rail)

ственные драйверы стоимости. Качественные драйверы не могли быть охарактеризованы с помощью количественных значений, поэтому они были представлены в документе описательно. В 2016 г. МСЖД опубликовал практическое руководство по применению стандарта ISO 55001 в области управления активами на железнодорожном транспорте. Российское участие, в частности, обеспечило возможность учесть в разрабатываемом международном документе опыт, накопленный в ОАО «РЖД» при разработке и использовании Комплексной системы управления надежностью, рисками, ресурсами на всех стадиях жизненного цикла – УРРАН [5-7]. Особое внимание в этом документе уделено вопросам управления рисками. Данный инструмент, как никакой другой, позволяет обеспечить реализацию основных принципов управления активами: «снижение затрат за счет выполнения правильной работы в нужном месте в нужное время, а также скоординированных мероприятий для достижения оптимального баланса между обслуживанием, обновлением и улучшением всей базы активов».

В 2020 г. Группой инициирован новый проект Asset Management Whole System Decision Making (WiSDoM). Целью проекта является разработка концепции и соответствующих методов и инструментов для Единой системы принятия решений (далее – «Система»), предназначенной для обеспечения управления активами на железнодорожном транспорте. Концепция Системы предполагает интеграцию используемого в других отраслях подхода «система систем» с существующими подходами к управлению активами и по многим аспектам близка к методологии УРРАН. Планом реализации проекта предусмотрены разработка концепции применения Системы для всей инфраструктуры, единых процессов и критериев принятия решений, определение методов и инструментов, обеспечивающих принятие решений, практическое тестирование, валидация применяемых методов и подтверждение эффективности применения Системы. Проект рассчитан на период с января 2021 г. по декабрь 2023 г.

В регулярных заседаниях по управлению активами, помимо постоянных членов Группы, принимают участие представители многопрофильных международных консалтинговых организаций, научно-исследовательских институтов и транспортных компаний Австрии, США, Великобритании, Ирландии, Франции, Нидерландов и др. Поскольку этот рынок достаточно молодой и начинает только формироваться, остановимся на них более подробно.

Компания Oxand [8] основана в 2002 году во Франции и является лидером в вопросах консультирования работ по построению систем управления активами и управления проектами. В портфеле компании более 1500 реализованных проектов в области управления недвижимостью, инфраструктурой железных дорог, энергетики и заводов промышленности. Основной инструментарий – собственный программный комплекс Simeo™, содержащий в своей базе данных нормативно-справочную информа-

цию о более чем 600 видов активов, анализ 70 000 км инфраструктуры железных дорог и более чем 40 млн м² недвижимости. В системе реализован модуль поддержки принятия решений с использованием накопленных статистических данных по различным видам технических активов за 15 лет. Основными ключевыми показателями при принятии решений являются показатели RAMS.

Systra Solutions [9] – международная инжиниринговая и консалтинговая группа. Основана во Франции в 1957 г. французскими железными дорогами SNCF. Предлагает собственные программные решения для построения моделей жизненного цикла, планирования инвестиций, управления рисками и безопасностью, оптимизации расходов, а также построение системы предиктивного технического обслуживания на основе Big Data.

Assetsman [10] основана в 2001 г. во Франции доктором Celso de Azevedo, основоположником внедрения системы управления активами во Франции. Осуществляет свою деятельность в области бизнес-консультирования, проведения тренингов и внедрения системы управления активами на промышленных предприятиях с использованием собственных программных модулей: AssetsValue, AssetsBudget и AssetsLifetime, покрывающие соответственно все вопросы управления и поддержки принятия решений по управлению техническими активами с использованием показателей RAMS, стоимости жизненного цикла и анализа рисков. Обучение и тренинги проводятся с использованием бизнес-игры AssetsGame. Компания является членом французского института управления активами инфраструктуры (infram) и обеспечивает поддержку в прохождении процедуры получения сертификации ISO 55001.

COSMOTECH [11], Франция, основана в 2010 году. Глобальный поставщик (вендор) программного обеспечения и приложений Enterprise Digital Twins для моделирования и оптимизации операционной эффективности компаний. Созданы большая библиотека моделей и шаблоны приложений, адаптируемые к требованиям заказчика.

3B infra [12], Австрия, основана в 2008 году, бизнес-консалтинг и системные решения по вопросам управления активами, в том числе недвижимостью, техническое обслуживание инфраструктуры заказчика, планирование и контроль расходов с применением собственной комплексной системы управления инфраструктурой и эксплуатационной работой железнодорожной компании – INFRA LIFE. Единое программное решение позволяет учитывать текущее состояние инфраструктуры, вести учет затрат, формировать планы по ремонтам, осуществлять поддержку принятия решений на основе предиктивной аналитики. Позволяет интегрировать в свой контур управления любые существующие системы заказчика.

ALD [13], Израиль, основана в 1984 г. Специализируется в области анализа рисков, надежности, отказобезопасности и FRACAS системах (система по сбору данных об отказах технических средств, событиях и инцидентах). Предлагает следующие программные решения:

- FavoWeb, интернет решение динамической FRACAS-системы, расчет показателей RAMS, стоимости жизненного цикла, анализ рисков заказчика на уровне всего предприятия. Интегрируется с любыми базами данных уже существующих у заказчика;

- RAM Commander – 30 модулей, выполняющих все задачи инженера по надежности – от прогноза показателей, до анализа дерева отказов на всех уровнях: компоненты, блоки, системы;

- Safety Commander обеспечивает интегрированную оценку отказобезопасности на уровне платформы (самолет, корабль, поезд и т.д.) посредством интеграции показателей отказобезопасности подсистем на высший уровень.

ReliaSoft [14], США, основана в 1992 году. Консультационно-образовательные услуги, лицензирование, поставка собственного программного обеспечения. Программные приложения ReliaSoft представляют собой большой спектр методов инженерного моделирования и анализа надежности на стадии проектирования технического изделия.

SAP SE [15], Германия, основана в 1972 году. Компания занимается разработкой автоматизированных систем управления такими внутренними процессами предприятия как: бухгалтерский учет, торговля, производство, финансы, управление персоналом, управление складами и т.д. Кроме поставок программного обеспечения фирма предлагает услуги по его внедрению, используя для этого собственную методологию внедрения (изначальное название ASAP – Accelerated SAP, в последствии – ValueSAP). SAP ERP – самый известный программный продукт для планирования ресурсов предприятия, разработанный компанией. Внедрение модуля SAP ERP включает в себя разработку и внедрение следующих процессов:

- ведение нормативно-справочной информации (НСИ);
- проведение капитальных и текущих ремонтов;
- годовое планирование ремонтов;
- оперативное планирование;
- выполнение работ и учет фактических затрат;
- управление техническим обслуживанием.

ABB [16], швейцарско-шведская корпорация, основанная в 1988 году, работает в различных областях промышленности, однако ключевыми направлениями деятельности компании являются энергетическое машиностроение и технологии автоматизации – объединенные общей цифровой платформой ABB Ability™. Программное решение по автоматизации производств позволяет оптимизировать управление производственными процессами, увеличить энергосбережение и производительность (снижение эксплуатационных расходов, увеличение срока службы оборудования, повышение надежности и оперативности реагирования).

Maximo Asset Management [17] – программное решение компании IBM (США), созданное специально для управления всеми типами технических активов независимо от их местонахождения. В системе IBM MAXIMO можно выделить 6 взаимосвязанных функциональных блоков,

которые позволяют реализовать полный цикл обслуживания и управления активами предприятия:

- управление активами;
- управление снабжением;
- управление договорами;
- управление материальными запасами;
- управление работами;
- управление сервисами.

Система Maximo является лидирующим решением на рынке EAM-систем и предназначена для повышения эффективности управления Активами предприятия.

Конечно, это далеко не полный перечень организаций и IT-продуктов, представленных сегодня на рынке. Следует отметить общую тенденцию к развитию этого рынка. Компании, которые начинали как разработчики пакетов программ по расчету показателей надежности (RAMS), а затем уже перешедшие к вопросам стоимости жизненного цикла, оценок риска и связанных с ними систем и методик поддержки принятия решений, являются представителями «старшего поколения», прошедшими эволюционный путь от решения чисто инженерных задач к решению уже управленческих вопросов и поиску наиболее эффективной стратегии технического содержания и ремонта инфраструктуры. Сильными сторонами данных представителей является сформированная, хорошо подготовленная инженерная школа и накопленные за достаточно долгий период времени большие библиотеки отказов технических средств. Компании, пришедшие на рынок в более поздний период, сформировались, в первую очередь, как бизнес-консультанты в вопросах построения и реорганизации системы управления предприятиями в соответствии с принципами серии стандартов по управлению рисками ISO 31000, по управлению активами ISO 55000, с оказанием услуг по подготовке и прохождению процедуры получения соответствующих сертификатов, обучению и тренингам сотрудников компаний, разработке бизнес-игр. Программное обеспечение, предлагаемое этими компаниями, ориентировано больше на процедуры описания бизнес-процессов заказчика, но при безусловном использовании индикативных маркеров поддержки принятия решений с использованием показателей RAMS и оценки рисков. Существует и третья группа компаний, которая сформировалась при больших инфраструктурных предприятиях и, оказывая услуги по формированию эффективной стратегии технического содержания инфраструктуры заказчика, перешла на правах аутсорсинга к ее непосредственному обслуживанию своими силами, на практике реализуя выработанные решения. Сильными сторонами таких организаций являются большой собственный обученный и подготовленный технический персонал и наличие многоуровневой комплексной системы управления всем предприятием с использованием интегрированных решений SCADA-систем и объединения производственного/эксплуатационного контура управления с системами бухгалтерского учета, что позволяет на практике реализовывать принципы управления затратами и производить расчеты стоимости жизненного цикла оборудования.

4. Заключение

В статье проведен анализ опыта железнодорожных компаний Евросоюза в вопросах построения системы управления техническими активами на основе современных цифровых технологий. Установлено, что обобщенная архитектура европейской информационной платформы управления активами представляет собой довольно разнообразную палитру применяемых IT-решений, что является большой проблемой, так как любое внесение изменений в работу программного комплекса требует больших временных, организационных и финансовых ресурсов. В этой связи наибольшего успеха достигают компании, вложившиеся в разработку собственной цифровой платформы управления активами. Для подтверждения этого вывода проведен бенчмаркинг лучших практик железнодорожных компаний Евросоюза, произведен сравнительный анализ применяемых железнодорожными компаниями цифровых технологий, а также сделан обзор наиболее известных программных решений, предлагаемых на рынке для построения системы управления активами. Сделан вывод, что железнодорожным компаниям придется приложить значительные усилия, чтобы те огромные затраты, которые они сегодня вкладывают в цифровизацию, не пропали даром, т.к. их внедрение натолкнется на сопротивление сложившейся системы хозяйствования и распределения ответственности между организационными уровнями управления внутри компаний.

Библиографический список

1. DIANA – диагностическая система для стрелочных переводов // Железные дороги мира. 2019. №7. С. 73-74.
2. Lasting Infrastructure Cost Benchmarking (LISB). 20 years of benchmarking (1996-2015) // UIC – Railway Technical Publications (ETF). Paris, 2017.
3. Guidelines for the Application of Asset Management in Railway Infrastructure Organizations // UIC – Railway Technical Publications (ETF). Paris, 2016.
4. Key Cost Drivers in Railway Asset Management // UIC – Railway Technical Publications (ETF). Paris, 2016.
5. Замышляев А.М., Шубинский И.Б. Развитие проекта УРРАН – построение системы управления техническими активами // Железнодорожный транспорт. 2019. №12. С. 19-27.
6. Zamyshlyayev A., Shubinsky I. Adaptive Management System of Dependability and Safety of Railway Infrastructure // Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO). / Be'er-Sheva, Israel, 15.02.16-18.02.16, IEEE Xplore Digital Library. P. 244-250.
7. Shubinsky I., Zamyshlyayev A. Risk management system on the Railway Transport // Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO). / Be'er-Sheva, Israel, 15.02.16-18.02.16, IEEE Xplore Digital Library. P. 481-486.
8. «Smart Data» for Sustainable Real Estate and Infrastructures Oxand. URL: www.oxand.com (дата обращения: 08.06.2020)
9. Urban/rail public transport engineering consulting firm (metro, bus, tramway, etc.) – SYSTRA France & international. URL: <https://www.systra.com> (дата обращения: 08.06.2020).
10. Assetsman – Asset Management Industriel – Assetsman. URL: <https://www.assetsman.com> (дата обращения: 08.06.2020).
11. Cosmo Tech – Enterprise Digital Twin Software Solutions. URL: <https://www.cosmotech.com> (дата обращения: 08.06.2020).
12. 3B infra. URL: www.3binfra.at (дата обращения: 08.06.2020).
13. Reliability Software, Safety and Quality Solutions – ALD Service. URL: <https://www.aldservice.com> (дата обращения: 08.06.2020).
14. ReliaSoft – Reliability and Maintainability Analysis – ReliaSoft. URL: <https://www.reliasoft.com> (дата обращения: 08.06.2020).
15. SAP Software Solutions Business Applications and Technology. URL: <https://www.sap.com> (дата обращения: 08.06.2020).
16. ABB Group. Leading digital technologies for industry. URL: <https://new.abb.com/offerings> (дата обращения: 08.06.2020).
17. IBM – Российская Федерация. URL: <https://www.ibm.com/ru-ru> (дата обращения: 08.06.2020).

Сведения об авторе

Замышляев Алексей Михайлович – доктор технических наук, заместитель Генерального директора АО «НИИАС», Российская Федерация, 109029, Москва, ул. Нижегородская, д.27, стр.1, тел. +7 (495) 967-77-02, e-mail: A.Zamyshlaev@vniias.ru

Вклад автора в статью

Автором рассмотрено и проанализировано состояние вопроса построения системы управления техническими активами железнодорожных компаний Евросоюза на основе современных цифровых технологий. Установлено, что европейская информационная платформа управления активами представляет собой множество различных IT-решений и что в такой структуре внесение изменений в работу программного комплекса требует значительных затрат. Показано, что наибольшего успеха достигают компании, вложившиеся в разработку собственной цифровой платформы управления активами. Автором проведен бенчмаркинг лучших практик железнодорожных компаний Евросоюза и сравнительный анализ применяемых цифровых технологий в области управления активами. В результате выявлено, что сложность внедрения современных цифровых технологий обусловлена сопротивлением сложившейся системы хозяйствования и распределения ответственности внутри компаний.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

О методах качественной оценки состояния безопасности структурно-сложных систем

Александр В. Бочков, ООО «Газпром газнадзор», Российская Федерация, Москва

a.bochkov@gmail.com



Александр В.
Бочков

Резюме. Цель. Показать способ преодоления неопределенности в требованиях к качеству данных в нестандартных ситуациях и пути формализации принятия решений, направленных на обеспечение безопасного функционирования структурно-сложных систем. Предложен способ осуществления аксиоматического построения интегральных показателей, описывающих свойства системы и среды ее функционирования через синтез функции риска. **Методы.** Используются методы системного анализа задачи, методы аппарата трудности достижения целей Руссмана, и теории контрольных карт Шухарта. **Результаты.** Предложены способы качественной оценки состояния безопасности двух видов: «лучше чем» (при определении некоторого целевого уровня, характеризующего состояние безопасности, которое надо достигнуть в идеале) или «не хуже чем» (при определении некоторого предельно допустимого уровня, характеризующего состояние безопасности, ниже которого недопустимо опускаться), подразумевающие некоторые интервалы отклонений от заданных целевого или, соответственно, минимально допустимого уровней, в пределах которых состояние безопасности, оцениваемое интегральным показателем, считается удовлетворительным. **Выводы.** Показано, что в задачах оценки безопасности и риска структурно-сложных систем не стоит пытаться работать только с конкретными событиями в области безопасности. Все эти события характеризуются набором свойств и сопутствующих факторов, у которых есть соответствующие характеристики. Нужно стараться определять каждое свойство и определять каждую характеристику этого свойства, что позволит затем определять проактивные и реактивные действия управления как реакцию на изменения этих характеристик и свойств. Отработав свойство ситуации или события, мы отработываем свойство риска, и совершенно не важно в каком конкретном риске это свойство проявится. Комбинаций свойств риска может быть крайне много, потому конкретные ситуации предсказывать крайне сложно. Следствием этого является необходимость создания проактивной системы поддержки принятия решений, которая на качественном уровне помогает принимать адекватные управленческие решения в преддверии критического события.

Ключевые слова: структурно-сложная система, синтез рисков, безопасность, управление, трудность достижения цели, статистическое мышление.

Для цитирования: Бочков А. В. О методах качественной оценки состояния безопасности структурно-сложных систем // Надежность. 2020. №3. С. 34-46. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-34-46>

Поступила 16.06.2020 г. / **После доработки** 02.07.2020 г. / **К печати** 21.09.2020 г.

Введение

Несомненно актуальными остаются на протяжении уже ряда лет задачи принятия оптимальных решений по управлению системами в условиях низкого информационного уровня их математического описания, который характеризуется, во-первых, неопределенностью в выборе целевой функции и задании ограничений, связанной с наличием большого числа разномысленных и противоречивых показателей вариантов описания текущего состояния и развития системы, и, во-вторых, нестандартностью ситуаций принятия решений – возможностью вычисления для каждого варианта лишь значений отдельных показателей, незнанием и трудно-реализуемостью ряда важных свойств целевой функции, свойств области поиска, и т.д. Принятие решений при этом в общем виде определяется как процесс выбора наилучшей альтернативы из всех возможных вариантов. Однако на практике достижение оптимального результата может быть проблематичным, поскольку лица, принимающие решения (ЛПР) и эксперты часто испытывают затруднения при принятии решений.

Анализ риска является, по сути, единственной возможностью исследовать те вопросы обеспечения безопасности, на которые не может быть получен ответ из статистики, как, например, аварии с малой вероятностью реализации, но с большими потенциальными последствиями [1]. Конечно, анализ риска не является решением всех задач обеспечения безопасности, однако только используя его, можно сравнить последствия от различных источников опасности, выделить наиболее существенные из них, выбрать наиболее эффективные и экономичные системы по обеспечению безопасности, разработать мероприятия по снижению последствий аварий и т.д. При этом риск, как динамическая характеристика, зависящая от времени, средств и информации, не может быть сведена к «двумерным оценкам» вероятности и ущерба. Кроме того, существует принципиальное различие между стохастическими факторами, приводящими к принятию решения в условиях риска, и неопределенными факторами, приводящими к принятию решения в условиях неопределенности. И те, и другие приводят к разбросу возможных исходов результатов управления, но стохастические факторы полностью описываются известной стохастической информацией (эта информация и позволяет выбрать лучшее в среднем решение), а применительно к неопределенным факторам подобная информация отсутствует.

Проблема снятия неопределенности в задачах оценки безопасности имеет широкое практическое значение и до конца не разрешена к настоящему времени. Широкую дискуссию вызывают в научном сообществе даже трактовки понятий, используемые разными исследователями [2].

Многие, если не большинство, методы в статистике используют вероятности, удовлетворяющие классическим аксиомам Колмогорова (называемые «точными»,

«классическими» или «аддитивными» вероятностями). Однако уже в ранних публикациях, посвященных количественной оценке неопределенности, использовались, например, предвидения [3], неаддитивные вероятности [4] и выпуклые множества вероятностей [5]. Подавляющий акцент на точные вероятности развился только после работ Лапласа [6] и на сегодняшний день многие исследователи в области статистики и теории вероятностей по-прежнему убеждены, что аддитивные вероятности обеспечивают основу для количественного определения неопределенности, которая достаточно богата, чтобы справляться со всеми видами неопределенностей, и информацией, возникающей в практических задачах. Однако все больше и больше становится общепринятым мнение о том, что аддитивные вероятности слишком ограничены и что появляющиеся альтернативные структуры обеспечивают столь необходимую гибкость для количественной оценки неопределенности, тем самым также предлагая новые способы борьбы с ней в задачах оценки инженерного риска, безопасности и надежности.

Ситуация неопределенности характеризуется тем, что выбор конкретного плана действий может привести к любому результату из определенного множества вариантов, но вероятность влияния случайных факторов неизвестна. Различают, как правило, два случая: в первом случае вероятности неизвестны вследствие отсутствия необходимой статистической информации, а во втором – ситуация не статистическая и об объективных вероятностях говорить вообще не имеет смысла (ситуации так называемой «совершенной» неопределенности). Именно «совершенная» неопределенность встречается чаще всего, поскольку решения (особенно стратегические) принимаются, как правило, в уникальных условиях. А принятие решений в условиях неопределенности неразрывно связано с риском.

Инженеры традиционно боролись с неопределенностью с помощью факторов безопасности, требуя, чтобы фактическая нагрузочная способность конструкции превышала проектную нагрузку на определенный коэффициент. Тем не менее, подход с учетом коэффициента безопасности не дает информации о фактическом времени до отказа и поэтому считается не вполне удовлетворительным. Поскольку было желательно лучшее аналитическое описание неопределенностей, инженерные оценки были заложены в вероятностную основу начиная с 1950-х годов в новаторских работах Фройдентала, Болотина и других. При таком подходе каждый параметр модели рассматривается как случайная величина, и вместо абсолютной безопасности учитывается вероятность отказа. Такой вероятностный подход приводит к взрыву числа параметров: каждый физический параметр теперь имеет распределение вероятностей, которое, в свою очередь, описывается параметрами распределения (такими, как среднее значение, стандартное отклонение, эксцесс и т.д.), не говоря уже об описании корреляции между переменными. К сожалению, это требует гораздо больше информации, чем обычно доступно. Таким об-

разом, на практике параметры распределения должны быть частично определены с помощью нормативных допущений, например, просто ограничив тип распределения типом, обычно встречающимся в технической литературе, или наивно предполагая независимость, если информация о корреляции недоступна. Другими словами, необходимо вводить искусственную информацию, которая не может быть подтверждена какими-либо доступными данными.

Стремление к моделям неопределенности, отражающим истинный уровень доступной информации, привело к поиску альтернативных моделей в инженерном сообществе: вероятностные модели считались слишком жесткой концепцией, а инженерная практика довольно четко показала, что интервальные оценки неопределенности предпочтительнее точечных оценок.

Каков же выход? Нужно переходить к синтезу риска в управлении системами и концептуальному проектированию систем управления. Вероятность – не аддитивная величина. Сложение произведений вероятности на ущерб работает только для малых вероятностей. Об этом, в частности, говорилось в предыдущих статьях [7, 8]. Основная идея, озвученная в этих публикациях – оценка риска должна производиться с точки зрения недостижения «идеала». Как следствие программа развития (проект, модель) должна включать описание этого идеала во взаимосвязи всех факторов и угроз. Для решения такой задачи необходимо разработать структуру системы управления, которая отражала бы взаимосвязи между ее элементами, угрозами, рисками и уязвимостями. По определению задача синтеза структуры такой системы сводится к заданию множества отношений на множестве ее элементов.

В области восприятий, в частности, где действие поля сознания можно легко проанализировать экспериментально, давно пришли к выводу, что так называемые «элементы» суть всегда продукты диссоциации или вычленения из целого внутри начальной совокупности и что ни одно частное соотношение не может быть выделено без выявления с самого начала характерных структурных свойств совокупности. В итоге этот путь приведет к пониманию необходимости создания реально функционирующей системы мониторинга, которая в общем виде подразумевает решение четырех взаимосвязанных задач [9, 10]:

- наблюдение – заключается в получении и распространении информации, обработке и предоставлении ее пользователям (данная функция выступает в качестве интегрирующей, позволяет сформировать базу данных для анализа, оценки и прогнозирования состояния объекта мониторинга и его развития);

- анализ и оценка – предполагает анализ собранной информации, раскрытие причинно-следственных связей, сравнение принятых индикаторов и показателей с установленными нормативами;

- прогнозирование – связано с возможностью на основе качественной мониторинговой информации

достоверно представить общую картину развития наблюдаемого явления, объекта или системы в перспективе и, таким образом, научно обоснованно разработать ближайшие и более отдаленные по исполнению планы преобразования того или иного процесса, управления им;

- контроль – заключается в постоянном отслеживании полученных результатов и сравнении их с исходными данными, а также организации и контроле исполнения запланированных мероприятий и задач.

Включение аналитической составляющей в систему мониторинга является обоснованным и правомерным. Более того, анализ выступает наиболее значимым элементом мониторинга, т.к. мониторинг – это не только фиксация фактов, зеркальное отражение происходящих процессов, но и аналитика, оценка, позволяющая формировать выводы и предложения, выстраивать прогнозы, планы, сценарии развития и т.п. Прогностическая же составляющая является исходной для функций контроля, планирования и управления. Если представлять управление как передачу информационных потоков от одного субъекта управления к другому, то управление – это процесс формирования целенаправленного поведения объекта управления и обеспечения устойчивых режимов его функционирования в условиях риска и неопределенности посредством организации потоков внутренней и внешней информации, а также методов ее поиска, обработки и распределения, позволяющих осуществить формирование, выбор и применение рационального управленческого решения. В условиях ограниченных информационных потоков о состоянии объекта управления, или крайней неполноты признаков описания ситуаций, влияющих на безопасность, широкое применение могут найти качественные оценки.

1. О качественных оценках

Качественные оценки состояния производственной безопасности возможны двух видов: «лучше чем» (при определении некоторого целевого уровня, характеризующего состояние безопасности, которое надо достигнуть в идеале) или «не хуже чем» (при определении некоторого предельно допустимого уровня, характеризующего состояние безопасности, ниже которого нельзя опускаться). Обе оценки подразумевают некоторые **интервалы отклонений от заданных целевого или, соответственно, минимально допустимого уровня**, в пределах которых состояние производственной безопасности, оцениваемое неким интегральным показателем, считается удовлетворительным.

Преимущество качественных оценок – в простоте применения и использования меньшего объема информации, простоте восприятия и интерпретации ЛПР. Мировой опыт показывает, что применение качественных методов оценки зачастую дает наибольший объем рекомендаций по обеспечению безопасности, чем количественные методы. Данные методы имеют ряд специфических особенностей. Как правило, каче-

ственные показатели выражаются баллами или рангами, которые представляют собой числа, но над этими числами нельзя проводить основные математические операции, они не подчиняются общим математическим правилам, то есть если одному из показателей присвоен ранг «1», а другому «2», это не означает, что первый оценивает опасность в два раза ниже, чем второй. Для получения совокупной качественной оценки безопасности используются, как правило, логические правила и процедуры.

2. О шкале оценки

Для оценки показателей должны быть разработаны адекватные количественные или порядковые шкалы. Для балльной оценки показателей, например, можно использовать хорошо зарекомендовавшую себя в ряде практических задач [11-13] нелинейную неравномерную шкалу.

Базой для ее построения является знание диапазона значений, принимаемых показателями, то есть знание минимальной x_{\min} и максимальной x_{\max} оценок. Принято, что значение 1 равно x_{\min} , а значение 9, соответственно, x_{\max} (рис. 1).

Средней оценке 5 должно соответствовать такое значение показателя x_5 , которое удовлетворяет условию: отношение x_{\max}/x_5 равно x_5/x_{\min} . Решая уравнение $(x_{\max}/x_5) = (x_5/x_{\min})$ получаем, что x_5 равно среднему геометрическому от x_{\min} , x_{\max} . Значение x_3 определяется по аналогии, как $\sqrt{x_3 x_{\min}}$; $x_5 = \sqrt{x_{\max} x_{\min}}$; $x_7 = \sqrt{x_5 x_{\max}}$, соответственно. Далее, x_2 – среднегеометрическое $\sqrt{x_{\min} x_3}$; $x_4 = \sqrt{x_3 x_5}$; $x_6 = \sqrt{x_4 x_7}$; $x_8 = \sqrt{x_7 x_9}$ и x_{\min} , x_2 , x_3 , ..., x_8 , x_{\max} – средние значения, соответствующие 1, 2, 3, ..., 9 балам.

Граница разделения значений, соответствующих одному и двум баллам, вычисляется как $\sqrt{x_{\min} x_2}$. Далее границы между двумя и тремя баллами определяются как $\sqrt{x_2 x_3}$ и так далее. Наконец, границы между восьмибалльной и девятибалльной оценками вычисляются как $\sqrt{x_8 x_{\max}}$. Если информация по показателю неизвестна, при переводе в балльную оценку ему присваивается значение, равное 5. Максимальное и минимальное значения признаков, относительно которых рассчитывается шкала, выбираются из всех данных по ранжируемым объектам того или иного объекта оценки.

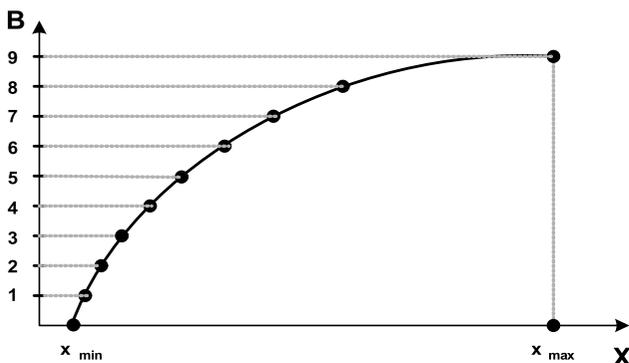


Рис. 1. Нелинейная неравномерная шкала оценки показателей

Для произвольной совокупности объектов $\{O_j\}$ с измерением x_j , обозначая через A минимальное из всех значений x_j , а через B – максимальное значение из всех x_j , имеем, что для построения шкалы с K градациями, необходимо рассчитать $K-1$ значения ($i=1, \dots, K-1$).

Например, для $K=9$: $\tilde{x}_i = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{2^{K-2}}} \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{2(i-1)}{2^{K-2}}}$ и, соответственно:

$$\tilde{x}_1 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{16}}; \tilde{x}_2 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{3}{16}}; \tilde{x}_3 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{5}{16}};$$

$$\tilde{x}_4 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{7}{16}}; \tilde{x}_5 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{9}{16}}; \tilde{x}_6 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{11}{16}};$$

$$\tilde{x}_7 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{13}{16}}; \tilde{x}_8 = A \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{\frac{15}{16}};$$

Далее, все $x_j < \tilde{x}_1$ получают оценку 1 балл, все $\tilde{x}_i \leq x_j < \tilde{x}_{i+1}$ ($i = 2, \dots, K-1$) получают оценку i баллов и, наконец, все $x_j \geq \tilde{x}_{K-1}$ получают оценку (рис. 2) \tilde{x}_i , максимальную в K баллов.



Рис. 2. Шкала пересчета фактических значений параметра описания объекта в баллы

3. О целевом (минимально допустимом) уровне

Задание целевого или, соответственно, минимально допустимого уровня состояния безопасности возможно двумя способами:

- статистически (на основе обработки априорной информации об изменениях значения показателя, оцениваемого состояние безопасности за период не менее 5 лет);
- экспертно (на основе консолидации мнений экспертов в области обеспечения безопасности о допустимых значениях соответствующих показателей).

Например, в соответствии с 116-ФЗ промышленная безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий. Рассматривая «аварии на опасных производственных объектах и последствия указанных аварий» как результаты реализации угроз «жизненно важным интересам личности и общества» понятие «безопасность» безотносительно к области применения можно рассматривать как **осознанный личностью и обществом уровень допустимой опасности для их жизненно важных интересов**. Концептуально это понятие определено в ГОСТ Р ИСО 31000-2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» в термине «риск»: **риск – влияние неопределенности на цели**.

Если цель обеспечения безопасности – достижение достаточного для личности и общества субъективного ощущения защищенности от опасностей, связанных

с любой производственной деятельностью, значит меры, направленные на достижение этой цели, должны снижать влияние (возможный ущерб, потери) и неопределенность (информации, места, времени) осознанной опасности на безопасность.

Осознание уровня допустимой опасности подразумевает использование процедуры оценки риска, которая является, по сути, единственной возможностью исследовать те вопросы обеспечения безопасности, на которые не может быть получен ответ из статистики, как, например, аварии с малой вероятностью реализации, но с большими потенциальными последствиями, события типа т.н. «черного лебедя» (термин, обозначающий события, субъективно оцениваемые как невозможные, и, как следствие, исключаемые из рассмотрения) и т.п. Незаменимость подхода, основанного на оценке риска существующих вариантов развития системы управления безопасностью, обусловлена высокой скоростью изменения процессов, а значит и соответствующих им данных, описывающих состояния системы и окружающей ее среды, приводящей к тому, что построенные на объемной статистике модели быстро устаревают и не отражают действительность. Вследствие вышесказанного, неизбежен переход от точечных оценок состояния системы управления безопасностью к интервальным интегральным оценкам.

4. Об интегральном показателе

В качестве интегральной оценки состояния производственной безопасности предлагается ввести в рассмотрение комплексную целевую метрику, представляющую собой свертку (взвешенную сумму) локальных показателей безопасности вида [14]:

$$\Phi = \sum_{v=1}^h \lambda_v \Phi_v(\alpha^i), \quad \Phi = \prod_{v=1}^h \Phi_v(\alpha^i)^{\beta_v} \quad (1)$$

где $\alpha^i \in D$; λ_v и β_v – весовые коэффициенты, полученные с использованием каких-либо дополнительных предположений о функционировании модели α^i ; эти коэффициенты зависят от достигнутых значений частных показателей $\Phi_v(\alpha^i)$; D – допустимое множество оценок.

Вопрос выбора типа свертки требует дополнительного исследования. Исходная посылка методов, основанных на свертках, заключается в том, что каждую отдельную альтернативу можно оценить численно. Однако поскольку каждая альтернатива зависит от многих переменных, то задача отыскания наилучшей альтернативы становится не тривиальной, так как точки в многомерном пространстве не могут быть упорядочены естественным образом.

Гипотетически можно представить себе случай, когда одна из альтернатив обладает наибольшими значениями всех сравниваемых критериев и, следовательно, является наилучшей. Однако на практике такие случаи почти не встречаются. Одним из наиболее распространенных и простых способов сравнения многокритериальных

альтернатив заключается в сведении многокритериальной задачи к однокритериальной, т.е. к замене функции векторного аргумента на скалярную функцию.

Данная операция в специальной литературе получила название вычисления свертки (построения суперкритерия, интегрального показателя), которая есть числовая мера, позволяющая сравнивать ее с мерами альтернатив.

В настоящее время наиболее широко используются следующие методы:

- взвешенное суммирование;
- аддитивная свертка;
- мультипликативная свертка.

Взвешенное суммирование основано на вычислении математического среднего. Множество коэффициентов должно удовлетворять условию нормировки, несоблюдение которого делает не сопоставимыми шкалы отдельных критериев и, следовательно, итоговые оценки альтернатив. Единственным достоинством взвешенного суммирования является простота вычислений, а недостатки сводятся к следующим: результатом вычислений являются абсолютные значения критериев, что не позволяет сравнивать между собой разнородные критерии (например, стоимость, расстояние, вес); значения критериев не приведены к диапазону $[0; 1]$ абсолютной шкалы, что позволяет использовать только свойства более «слабой» интервальной шкалы; среднее, как оценка альтернативы, не содержит доли критерия от его максимального значения, что не позволяет сопоставлять оценки, полученные в разных шкалах. Введение функции полезности имеет аксиоматическое обоснование в виде теоремы Р. Кини, которая утверждает, что однокритериальная функция полезности может быть либо аддитивной, либо мультипликативной [15].

Аддитивная свертка. Характерным свойством аддитивной свертки является то, что максимальную оценку с ее помощью получают те альтернативы, которые имеют больше критериев, близких по значениям к максимальным (при одинаковых средних у всех альтернатив). При изменении направления оптимизации приоритеты меняются на противоположные. Использование аддитивной свертки вместо взвешенного суммирования обладает следующими преимуществами: свертка переводит абсолютные значения в относительные, что позволяет сравнивать разнородные качества; свертка приводит значения критериев к диапазону $[0; 1]$ абсолютной шкалы, что позволяет осуществлять в ней все допустимые алгебраические операции; указание доли критерия от его максимального значения позволяет сопоставлять оценки, полученные в разных шкалах.

Мультипликативная свертка. Характерным свойством мультипликативной свертки является то, что она отдает предпочтение тем альтернативам, которые имеют более равномерное распределение в абсолютной шкале значений критериев при одинаковых средних всех альтернатив. Достоинства мультипликативной свертки аналогичны достоинствам аддитивной свертки.

5. О частных показателях

Структура показателей зависит от объекта управления и возможности получать регулярные данные о значениях, описывающих сам объект и среду его функционирования в признаках и характеристиках. Примером подобной структуры, может служить условная структура частных показателей процесса обеспечения производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций (рис. 3).

5.1. Показатель качества процесса обеспечения производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций ($\Phi_{ПБ}$)

Обобщенная оценка состояния производственной безопасности характеризует общий уровень состояния производственной безопасности организации с учетом количества, повторяемости, устраняемости и тяжести несоответствий.

5.2. Показатель безопасности работников дочерних эксплуатирующих обществ и организаций ($\Phi_{ОР}$)

5.2.1. Показатель LTIF – частота случаев с потерей рабочего времени – удельные людские потери, случаи

потери трудоспособности (включая смертельные исходы и случаи с временной и постоянной потерей трудоспособности (инвалидность)) на 1 млн чел/ч работы. Это количество случаев потери рабочего времени (LTI), отнесенное к суммарному отработанному рабочему времени в подразделении или на предприятии (WH) за определенный период (обычно год) и нормированное на 1 млн чел/ч. Характеризует суммарное рабочее время, потерянное в результате полученных травм.

5.2.2. Показатель TRCF – частота общего количества регистрируемых несчастных случаев – число всех регистрируемых случаев (TRC), отнесенное к суммарному отработанному рабочему времени (WH) и нормированное на 1 млн чел/ч. Оперативно и комплексно отражает ситуацию по профтравматизму.

5.3. Показатель устойчивости дочерних эксплуатирующих обществ и организаций ($\Phi_{ВП}$)

5.3.1. Показатель технологической безопасности (Saf)

5.3.1.1. Количество аварий на объекте за пять лет.

5.3.1.2. Количество инцидентов 1-й группы на объекте за пять лет.

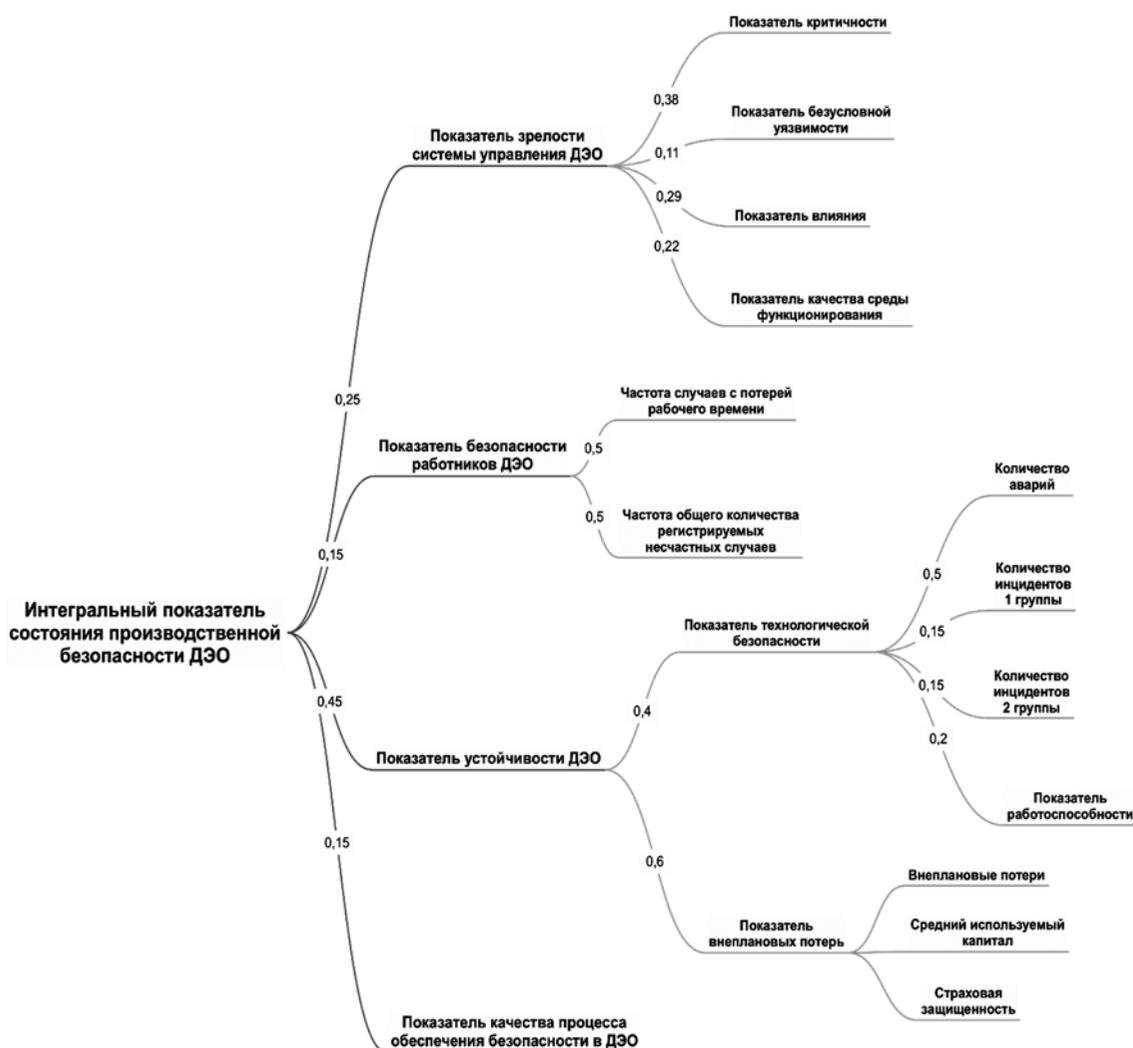


Рис. 3. Структура частных показателей безопасности процесса обеспечения производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций (условный пример)

5.3.1.3. Количество инцидентов 2-й группы на объекте за пять лет.

5.3.1.4. Показатель целостности (интегральный балльный показатель работоспособности), рассчитываемый согласно существующим отраслевым методикам. Расчет показателя проводится на основе логико-вероятностной оценки вероятности безотказной работы объекта, значимостей его технологических элементов с точки зрения влияния отказов этих элементов на его работоспособность, совокупного техногенного риска возможных аварий на нем.

5.3.2. **Показатель внеплановых потерь** (страховой защищенности) $LACE$ – относительные потери используемого капитала (*Lose of Average Capital Employed*) – безразмерный параметр (измеряемый в %), определяемый как отношение размера внеплановых потерь с учетом страховой защиты к среднему используемому капиталу [16]:

$$LACE = \frac{(1 - M) \cdot UPL}{ACE},$$

где UPL – внеплановые потери (включают сумму денежных эквивалентов материальных потерь, человеческого ресурса и финансовых потерь, включая компенсация потерь от перерывов производства, возмещение ущерба юридическим лицам и имуществу граждан, выплаты за негативное воздействие на окружающую среду) – через показатели более низкого уровня тесно связан с показателями промышленных рисков: индивидуальный риск; социальный риск; экономический риск; M – показатель страховой защищенности внеплановых потерь; ACE (*Average Capital Employed*) – средний используемый капитал.

В качестве «базы» для расчета $LACE$ должен быть выбран средний используемый капитал – по аналогии с определением целевого показателя первого уровня – рентабельности используемого капитала. Для отечественной практики более традиционной «базой» являются производственные расходы.

5.4. **Показатель зрелости системы управления производственной безопасностью объектов дочерних эксплуатирующих обществ и организаций, оцениваемый через метрику, обратную риску недоконтроля** (Φ_{PH})

Риск недоконтроля – комплексный показатель, характеризующий опасность для контролирующего органа пропустить объект (структурное подразделение), на котором потенциально возможно возникновение несоответствий и аварийных ситуаций. Риск недоконтроля определяет ранг (место) структурного подразделения дочернего общества в упорядоченном перечне объектов контроля. Риск недоконтроля рассчитывается независимо для предприятий разного типа (добычных, газотранспортных, переработки, ПХГ и т.п.) по общей схеме [17].

Показатель зрелости системы управления определяется как величина, обратная взвешенной сумме четырех показателей риска недоконтроля (оцененных в баллах):

$$\Phi_{PH} = 1 - \sum_{i=1}^4 \lambda_i \Phi_i,$$

где λ_i – показатели весомости соответствующей шкалы в единицах шкалы поправки, определяемые экспертно;

- показатель критичности объекта контроля (Φ_1) оценивает особенности ранжируемого структурного подразделения дочернего общества с точки зрения целей контроля (этот показатель является расчетным и тесно связан с показателями аварийности и неэффективным использованием газа). Рассчитывается сверткой отнормированных признаков описания структурного подразделения ранжируемого типа с соответствующими весами;

- показатель безусловной «уязвимости» объекта контроля (Φ_2) оценивает риск наложения санкций со стороны государственных надзорных органов и риск возникновения нежелательных последствий в результате неустранения нарушений, выявленных корпоративным контролем. Рассчитывается сверткой отнормированных признаков описания структурного подразделения ранжируемого типа с соответствующими весами;

- показатель (коэффициент) «влияния» объекта контроля (Φ_3) для объектов газотранспортной (газораспределительной) системы рассчитывается с использованием потоковой модели и статистических данных о структуре газопотребления в регионах РФ и характеризует важность выполнения объектом единицы товарно-транспортной работы. Для объектов, не являющихся объектами газотранспортной (газораспределительной) системы значение этого показателя принимается средним по РФ;

- показатель (коэффициент) «качества среды», в которой функционирует объект контроля (Φ_4) – безразмерная величина, рассчитывается по эмпирически подобранным статистическим данным о характеристиках филиалов в привязке к их территориальному размещению (имеет смысл безусловной уязвимости объекта); для каждой территории вследствие географических факторов, особенностей производственной структуры, социально-культурных, этнических, коррупционных и прочих различий требуется построение уникальных моделей расчета, в значительной степени опирающихся на субъективные оценки экспертов, знакомых с этой спецификой (основной источник информации для вычисления показателя «качества» среды функционирования объекта ранжирования – статистический ежегодник «Регионы России. Социально-экономические показатели»).

Веса показателей, приведенные на рис. 3 в качестве иллюстрации, могут быть получены путем экспертной оценки (например, методом попарного сравнения Т. Саати). Подробное описание метода широко освещено в литературе [18].

6. О методах получения качественной оценки

Для получения качественной оценки «лучше чем» предлагается применять метод И. Руссмана [19-21] (оценка трудности достижения целевого значения показателя), а для получения качественной оценки «не хуже чем» – метод статистических карт У. Шухарта [22-24] (оценка случайных и специальных причин вариаций в значении показателя).

6.1. Оценка трудности достижения целевого значения показателя

Метод применим, если существует заданное (требуемое) значение интегрального показателя, количественное выражение которого есть значение в точке C (рис. 4). При этом есть информация, чтобы оценить минимальную и максимальную скорости изменения показателя за прошлые периоды наблюдений.

Если с течением времени интегральный показатель попадает в заштрихованную область (см. рис. 4), то достижение цели в заданное время станет невозможным, поэтому эта область становится запретной, и приближение к ней надо рассматривать как угрозу невыполнения задачи и, соответственно, неудовлетворительную оценку состояния производственной безопасности.

В целях качественной оценки состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций, определим трудность достижения установленных целевых значений показателей как угрозу недостижения заданного целевого значения интегрального показателя безопасности. Трудность при этом – переменная величина, представляющая собой функцию относительно текущего положения показателя: она увеличивается при приближении значения показателя к некоторым допустимым границам, после преодоления которых достижение целевого значения практически невозможно.

При принятых допущениях трудность качественно характеризует вероятность недостижения цели. Графически за эту вероятность принимается отношение длины отрезка возможных скоростей к длине отрезка приемлемых скоростей (двигаясь с которыми постоянно, можно достигнуть заданное значение показателя не позже отведенного срока).

Критерии оценки «лучше чем» состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций накладывают ограничения на скорость изменения интегрального показателя, а именно:

Критерий 1. Скорость изменения интегрального показателя оценки состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций не может быть меньше минимальной скорости за весь предыдущий период измерений.

Критерий 2. Скорость изменения интегрального показателя оценки состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций не может быть отрицательной.

В случае выполнения этих двух условий (критериев) состояние производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций признается удовлетворительным, поскольку при любом текущем значении показателя остается ненулевая вероятность достижения поставленного целевого значения. Метод

Табл. 1.

№	Значение целевого показателя		Скорость изменения целевого показателя
	Ψ_t^k	Ψ_{t+1}^k	
1	0,950	0,940	1,0106
2	0,954	0,960	0,9938
3	0,950	0,910	1,0440
4	0,960	0,850	1,1294
5	0,980	0,982	0,9980
6	0,965	0,980	0,9847
7	0,982	0,930	1,0559
8	0,940	0,840	1,1190
9	0,968	0,974	0,9938
10	0,985	0,940	1,0479
11	0,991	0,990	1,0010
12	0,650	0,999	0,6507
13	0,999	0,890	1,1225
14	0,920	0,840	1,0952
15	0,925	0,500	1,8500

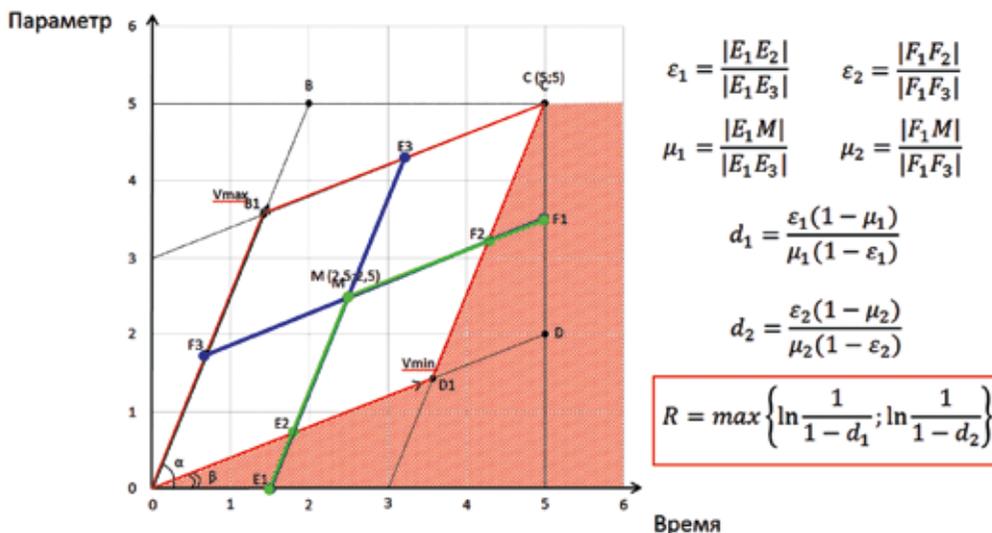


Рис. 4. Основные расчетные соотношения метода Руссмана

позволяет ранжировать дочерние эксплуатирующие общества и организации в зависимости от количественной оценки интегрального показателя.

Проиллюстрируем практическое применение метода Руссмана на примере анализа динамики условного интегрального показателя. Значения показателя Ψ^k за текущий год, в который выполняется оценка, и предшествующий год, приведены в табл. 1.

Скорость изменения значения показателя вычисляется по формуле $V = \frac{\Psi_{t+1}^k}{\Psi_t^k}$, причем $V_{\max} = 1,8500$, а $V_{\min} = 0,6507$. Соответственно, углы наклона векторов скорости к оси абсцисс равны 61,60 и 330. Пусть также в качестве целевого значения показателя Ψ^k через t+2 года от момента начала оценивания установлено значение 0,96. Текущее среднее значение Ψ^k равно 0,941. Предположим теперь, что через год, в t+1 году, одно из обществ получило значение интегрального показателя Ψ^k , равное 0,946. Ситуацию иллюстрирует рис. 5.

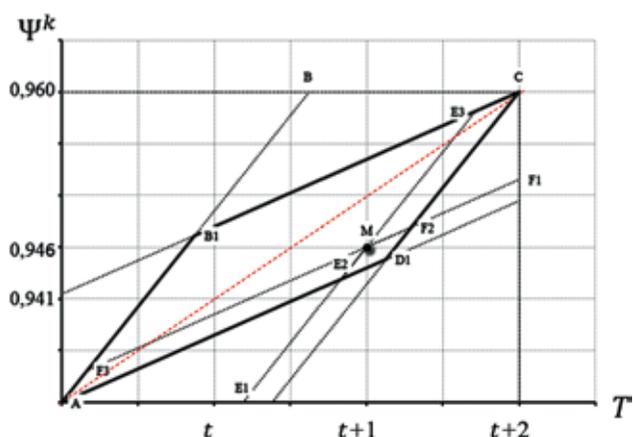


Рис. 5. Расчетный пример. Критическое состояние системы

Для данной ситуации в соответствии с методом, предложенным Руссманом, имеем:

$$\varepsilon_1 = \frac{|E_1 E_2|}{|E_1 E_3|} = 0,4247; \quad \varepsilon_2 = \frac{|F_1 F_2|}{|F_1 F_3|} = 0,2499;$$

$$\mu_1 = \frac{|E_1 M|}{|E_1 E_3|} = 0,5338; \quad \mu_2 = \frac{|F_1 M|}{|F_1 F_3|} = 0,3528;$$

$$d_1 = \frac{\varepsilon_1 (1 - \mu_1)}{\mu_1 (1 - \varepsilon_1)} = 0,6448; \quad d_2 = \frac{\varepsilon_2 (1 - \mu_2)}{\mu_2 (1 - \varepsilon_2)} = 0,6110,$$

и, соответственно,

$$R_{t+1} = \max \left\{ \ln \frac{1}{1 - d_1}; \ln \frac{1}{1 - d_2} \right\} \cong 1.$$

Значение $R_{t+1} \cong 1$ показывает, что если темпы изменения показателя сохранятся, через год достигнуть целевого значения не получится. Видно (на рис. 5), что точка М, обозначающая текущее положение показателя, приблизилась к опасным границам AD_1C , за которыми с высокой вероятностью возможна потеря управляемости

и невыполнение целевой установки. Текущая ситуация требует внимания и корректирующих мероприятий. Для сравнения рассмотрим оценку интегрального показателя для другого общества, которое в том же t+2 году достигло более высоко оценки (рис. 6).

Для данной ситуации, соответственно:

$$\varepsilon_1 = \frac{|E_1 E_2|}{|E_1 E_3|} = 0,3633; \quad \varepsilon_2 = \frac{|F_1 F_2|}{|F_1 F_3|} = 0,1205;$$

$$\mu_1 = \frac{|E_1 M|}{|E_1 E_3|} = 0,7878; \quad \mu_2 = \frac{|F_1 M|}{|F_1 F_3|} = 0,4137;$$

$$d_1 = \frac{\varepsilon_1 (1 - \mu_1)}{\mu_1 (1 - \varepsilon_1)} = 0,1537; \quad d_2 = \frac{\varepsilon_2 (1 - \mu_2)}{\mu_2 (1 - \varepsilon_2)} = 0,1942;$$

$$R_{t+1} = \max \left\{ \ln \frac{1}{1 - d_1}; \ln \frac{1}{1 - d_2} \right\} = 0,2159.$$

Значение при таком развитии событий (опять предполагается, что скорости изменения показателя остались прежними) показывает, что если темпы изменения показателя сохранятся, то через год целевое значение вполне достижимо – риск невысок, точка, характеризующая положение показателя, находится практически на оптимальной траектории.

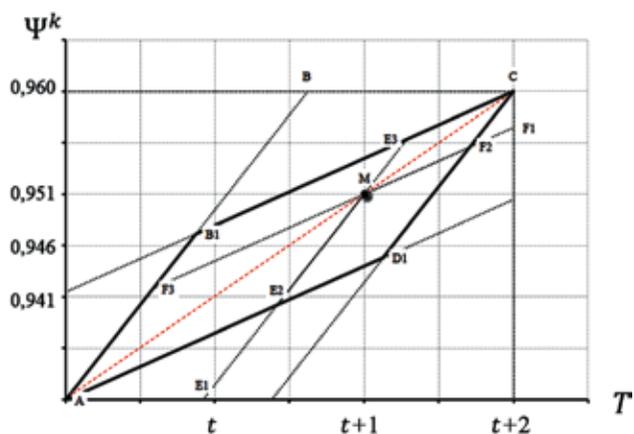


Рис. 6. Расчетный пример. Управляемое состояние системы

Оба значения интегрального показателя соответствуют вышеуказанным критериям и в обоих дочерних эксплуатирующих обществах состояние производственной безопасности удовлетворительное. Однако по сравнению с целевым значением показателя безопасности ситуация у второго общества качественно значительно лучше.

6.2. Оценка случайных и специальных причин вариаций показателя

Контрольная карта – это графическое средство принятия решений относительно стабильности или предсказуемости любого процесса, что определяет способы управления соответствующим процессом.

Теория контрольных карт различает два вида изменчивости. Первый вид – случайная изменчивость, вызываемая «общими» или «случайными» причинами. Она обусловлена широким набором таких причин, которые присутствуют постоянно, которые нелегко или экономически нецелесообразно в данный момент выявить, и среди которых нет заметно преобладающих. Однако в целом сумма всех этих причин создает то, что можно считать системной изменчивостью (вариабельностью) процесса. Предотвращение или уменьшение влияния обычных причин требует управленческих решений, направленных в первую очередь на изменение системы. Второй вид изменчивости представляет собой случайные вмешательства в процесс таких причин, какие не свойственны процессу внутренне, не принадлежат системе и могут быть обнаружены и устранены, по крайней мере, теоретически. Эти причины принято называть «специальными» или «особыми» причинами вариабельности. К ним, например, могут быть отнесены недостаточная однородность материала, поломка инструмента, ошибки персонала, невыполнение процедур, и т. п.

До тех пор, пока в процессе присутствуют специальные причины вариаций, он, по определению, предложенному Шухартом, является не стабильным, или не управляемым.

Поэтому цель контрольных карт – определить, стабилен ли процесс. Если нет, то главная задача – приведение процесса в стабильное состояние, для чего нужно найти коренные причины вмешательства в систему и устранить их. Если в процессе присутствуют только общие причины вариабельности, то он находится в статистически управляемом состоянии.

Важно иметь в виду, что границы контрольных карт Шухарта рассчитываются по данным о самом процессе, не имеют отношения к допускам, и не являются линиями каких-либо вероятностей. Для построения контрольной карты Шухарта требуются данные, получаемые от процесса через определенные временные интервалы с помощью выборок (подгрупп данных). Временные интервалы могут быть заданы либо временем, либо связываться с моментом проверки определенного количества объектов проверки. Обычно каждая выборка состоит из однотипных объектов проверки с одними и теми же контролируруемыми показателями качества. Все выборки (подгруппы) чаще всего имеют равные объемы. Для каждой выборки (подгруппы) определяют одну или несколько статистических характеристик, таких, как суммарное число несоответствий, доля несоответствующих единиц продукции, среднее арифметическое значение, выборочный размах и т.п.

Контрольная карта Шухарта имеет центральную линию (CL) – рис. 7, 8.

При изучении процесса и оценке того, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии, центральной линией служит среднее арифметическое значение рассматриваемых данных. При управлении процессом центральной линией служит целевое значение характери-

стики качества продукции, определенное в технических условиях. Контрольная карта Шухарта также имеет две, определяемые на основе статистических данных, контрольные границы, обычно симметрично расположенные относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (UCL) и нижней контрольной границей (LCL). Контрольные границы находятся на расстоянии 3σ вверх и вниз от центральной линии ($\pm 3\sigma$), где σ – стандартное отклонение случайных вариаций используемой статистической характеристики (статистики) в генеральной совокупности. Изменчивость внутри выборок (подгрупп) является мерой именно таких случайных вариаций и не включает величину межгрупповых вариаций.

Средняя линия и границы регулирования отображают закономерности вариации контролируемой характеристики при нормальном осуществлении процесса, т. е. при отсутствии особых причин. Ордината средней линии соответствует статистической оценке положения, а контрольные границы – наибольшему и наименьшему пределам объективно присущего ей интервала варьирования. Карты по количественному признаку могут отобразить изменчивость качества как по разбросу, так и по положению.

Поэтому контрольные карты по количественному признаку рекомендуется анализировать попарно: одна карта для разброса и другая – для положения. Наиболее часто используется пара карт \bar{X} и mR (рис. 7, 8). \bar{X} – это среднее значение небольшой подгруппы (мера положения), mR – это размах значений внутри каждой подгруппы (мера разброса).

Пример признаков проявления особых причин на картах (то есть точек, требующих более пристального внимания и дополнительного исследования для определения причин таких отклонений):

- точки выше UCL или ниже LCL;
- длинная серия точек (7 и более) выше или ниже CL;
- возрастающая или убывающая длинная серия точек (тренд);
- иные проявления «неслучайности»:
 - а) существенно более 2/3 точек расположены в средней трети области между UCL и LCL (сосредоточены вблизи CL);
 - б) вблизи CL сосредоточены существенно менее 2/3 точек;
 - в) очевидные тренды в пределах коротких серий циклы трендов;
 - г) повторяющиеся различия результатов в пределах отдельных выборок (например, первое всегда больше остальных).

При определении контрольных границ Шухарт выбрал число 3 и для других видов распределения данных, отличных от нормального. Это сделано для того, чтобы не давать поводов к рассмотрению и расчету точных вероятностей, поскольку и для других распределений при числе 3 эти вероятности близки к единице. Поэтому для карт размахов и долей несоответствий также используют границы на расстоянии $\pm 3\sigma$ вместо точных вероятностных пределов, упрощая понимание и интерпретацию данных контроль-

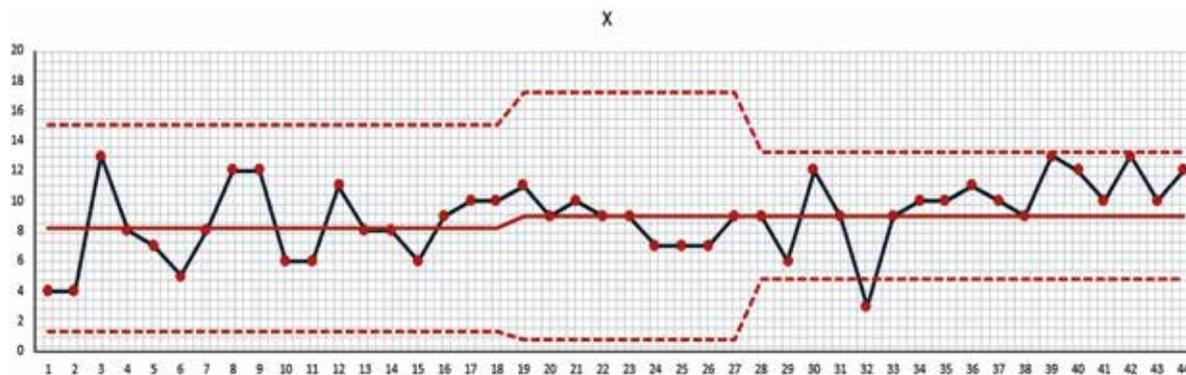


Рис. 7. Карта выбросов от средних значений условного интегрального показателя состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций

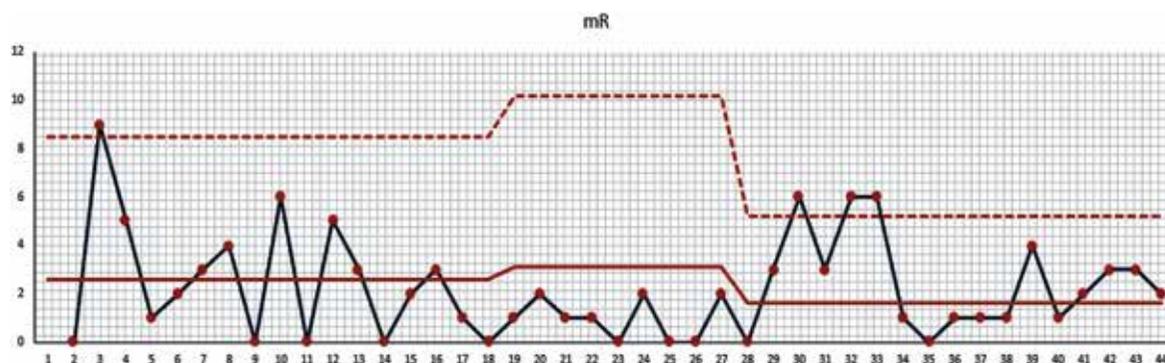


Рис. 8. Карта размахов значений интегрального условного показателя состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций

ных карт. В этом смысле расчеты контрольных границ носят «приблизительный» – качественный характер.

Критерий оценки «не хуже чем» состояния производственной безопасности дочерних эксплуатирующих обществ и организаций накладывает ограничения на вариации (отклонения) значений интегрального показателя от среднего значения:

Критерий. Отклонения от среднего значения интегрального показателя не должны превышать три стандартных отклонения ($\pm 3\sigma$).

Вероятность нарушения контрольных границ очень мала (0,3%). Поэтому появление точки вне контрольных границ (наступление редкого события) следует рассматривать как воздействие на процесс неслучайных (специальных) причин.

При применении контрольных карт возможно два вида ошибок: ошибка первого и ошибка второго рода.

Ошибка первого рода возникает, когда процесс находится в статистически управляемом (стабильном) состоянии, а точка выходит за контрольные границы случайно. В результате принимается неправильное решение о том, что процесс вышел из стабильного, т.е. статистически контролируемого состояния, и делают попытку найти и устранить причину несуществующей проблемы. Вероятность такой ошибки 0,3% или три случая на тысячу (0,003). В случае возникновения ошибки первого рода

никакой особой причины нарушения стабильности процесса не будет найдено, поскольку процесс на самом деле находится в статистически управляемом состоянии. Факт выхода точки за контрольную границу в таком случае демонстрирует наступление редкого случайного события.

Ошибка второго рода возникает тогда, когда рассматриваемый процесс вышел из статистически управляемого состояния, но все точки контрольной карты оказываются внутри контрольных границ.

7. О построении суперкритерия

В случае применения двух описанных выше подходов одновременно, может возникнуть проблема принятия решения об оценке состояния безопасности, когда оценки окажутся различными.

Возникает задача построения интегрального суперкритерия $\Phi = \Phi(\Phi_1(\alpha), \dots, \Phi_k(\alpha))$ для выбора оптимальной оценки на допустимом множестве. Наиболее употребительными видами интегральных критериев, как показано выше, являются формулы (1) (см. [14]).

Если в (1) ввести обозначение $\lambda_v \Phi_v = \Phi_v^*$, то первая из приведенных выше оценок станет суммой значений локальных критериев, а при замене $\Phi_v^{\beta_v} = \Phi_v^*$ вторая интегральная оценка превращается в произведение локальных критериев, понимаемых как безразмерные величины ценностного типа. В обоих случаях интегральный критерий Φ может быть сконструирован с помощью многократного использования бинарной

ассоциативной и коммутативной операции и является целой аналитической функцией от локальных критериев $\Phi_v, v = 1, \dots, k$. Как было показано Руссманом, класс таких операций достаточно узок и существует только три (с точностью до постоянных параметров) бинарных операции, удовлетворяющих условиям коммутативности, ассоциативности и целой аналитичности. Они задаются тремя следующими функциями: а) c ; б) $\Phi_1 + \Phi_2 + c$; в) $a(\Phi_1 + \Phi_2) + b\Phi_1\Phi_2 + \frac{a(a-1)}{b}$; $a, b, c - \text{const}, b \neq 0$.

Им же показано (см. [14]), что именно третью из даваемых теоремой оценок (при определенных значениях входящих в нее коэффициентов) надо использовать для получения интегрального критерия качества при наличии взаимодействия между подсистемами и критериальными ограничениями Φ_v^{**} на области изменения локальных оценок.

Свертка трудностей для k критериев

$$d = 1 - \prod_{v=1}^k (1 - d_v).$$

Руссман отмечает, что возможно использовать другие типы свертки, удовлетворяющие условиям коммутативности, ассоциативности, но не являющиеся целыми аналитическими функциями. Как пример он приводит свертку вида $\Phi = \max(\Phi_1, \Phi_2)$, которая будет именно такой. Подобного рода свертки часто используются в тех случаях, когда качество всей системы определяется качеством функционирования ее слабой подсистемы.

Заключение

Резюмируя сказанное, отметим, что главный вывод вышеприведенных рассуждений и построений состоит в очевидной идее: не стоит пытаться работать только с конкретными событиями в области безопасности. Все эти события характеризуются набором свойств и сопутствующих факторов, у которых есть соответствующие характеристики. Нужно стараться определять каждое свойство и определять каждую характеристику этого свойства, что позволит затем определять проактивные и реактивные действия управления как реакцию на изменения этих характеристик и свойств. Таким образом, отработав свойство ситуации или события, мы отработаем свойство риска, и совершенно не важно в каком конкретном риске это свойство будет проявляться. Комбинаций свойств риска может быть крайне много, потому конкретные ситуации предсказывать крайне сложно. Следствием этого является необходимость создания проактивной системы поддержки принятия решений, которая на качественном уровне помогает ЛПР в преддверии критического события. И при этом совершенно не важно, в результате какого катаклизма произойдет это критическое событие, важно, что будет возможно четко определить, какой уровень характеристики свойства для предприятия (проекта, объекта) критичен и что предприятию (менеджеру проекта, эксплуатанту) следует сделать, чтобы отодвинуть этот критический уровень.

Вероятность не должна измеряться субъективной оценкой. Именно тогда, когда начинают оперировать субъективными оценками вероятности, и происходит подмена объективного понятия невозможного события (типа «черного лебедя» Насима Талеба), на субъективное. А в субъективном понимании, «черным лебедем» может стать любое нештатное и даже штатное событие. Здесь важна четкая и однозначная грань.

Применение наиболее эффективных форм управления безопасностью неразрывно связано с активным использованием окружающего и внутреннего информационного пространства, состояние которого определяется специфическим видом ресурсного обеспечения деятельности – так называемым информационным ресурсом.

Содержание концепции формирования информационного ресурса системы управления составляет совокупность методов и методик организации информационных процессов в производственных системах, позволяющих осуществить выбор и использование необходимого информационно-технического решения для получения информации о производственной ситуации.

Как следствие, выделяют следующие задачи управления:

- задача целеполагания – определение требуемого состояния или поведения системы;
- задача стабилизации – удержание системы в существующем состоянии в условиях возмущающих воздействий;
- задача выполнения программы – перевод системы в требуемое состояние в условиях, когда значения управляемых величин изменяются по известным детерминированным законам;
- задача слежения – обеспечение требуемого поведения системы в условиях, когда законы изменения управляемых величин неизвестны или изменяются;
- задача оптимизации – удержание или перевод системы в состояние с экстремальными значениями характеристик при заданных условиях и ограничениях.

Можно сказать, что необходимо принять к исследованию безопасности подход кибернетики, которая практикует информационный подход к исследованию процессов управления, который выделяет и изучает в объектах исследования различные виды потоков информации, способы их обработки, анализа, преобразования, передачи и т.д. Под управлением при таком подходе в самом общем виде понимается процесс формирования целенаправленного поведения системы посредством управляющего информационного воздействия на нее человеком или устройством.

Библиографический список

1. Бочков А.В., Сафонов В.С. Специфика анализа и оценок показателей риска редких событий на опасных производственных объектах // Вести газовой науки. 2020. № 1 (42). С. 84-95.
2. Колесников Е.Ю. Тематика неопределенности в публикациях журнала «Проблемы анализа риска» // Проблемы анализа риска. 2019. 16(3). С. 78-93.

DOI:10.32686/1812-5220-2019-16-3-78-93

3. Huygens C. (1657). De calcul dans les jeux de hazard. Oeivt. Comply t. 14. La Haye, 1920, pp. 49-91, франц. и голл. Русский перевод с франц. В книге Шейнин (2006, с. 28-42).

4. Bernoulli J. Ars coniectandi, opus posthumum. Accedit Tractatus de seriebus infinitis, et epistola gallicé scripta de ludo pilae reticularis. Basel: Thurneysen Brothers, 1713.

5. Boole G. An Investigation of the laws of thought on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities. New York: Dover, 1957. 424 p.

6. Laplace P.S. Le Systeme du Monde. Paris, 1795. / Русский перевод: Лаплас П.С. Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. 376 с.

7. Бочков А.В. О природе рисков в управлении безопасностью структурно сложных систем // Надежность. 2019. № 4. С. 53-64. DOI:10.21683/1729-2646-2019-19-4-53-64

8. Бочков А.В. О методе синтеза рисков в управлении безопасностью структурно-сложных системам // Надежность. 2020. №1. С. 57-67. DOI:10.21683/1729-2646-2020-20-1-57-67

9. Пономаренко Д.А., Бочков А.В. Научно-методические основы мониторинга и прогнозирования состояния производственной безопасности ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2017. № 3 (749). С. 20-30.

10. Пономаренко Д.В., Бочков А.В., Лесных В.В. Современные подходы к мониторингу состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 1. С. 6-17.

11. Bochkov A. Hazard and Risk Assessment and Mitigation for Objects of Critical Infrastructure // Diagnostic Techniques in Industrial Engineering. Management and Industrial Engineering / Ram M., Davim J. (eds), Springer, Cham, 2017. P. 57-135. DOI:10.1007/978-3-319-65497-3_3

12. Bochkov A., Zhigirev N. Development of Computation Algorithm and Ranking Methods for Decision-Making under Uncertainty // Advanced Mathematical Techniques in Engineering Science. Series: Science, Technology and Management (May 17, 2018) / Ram M., Davim J. (eds). CRC Press, 2018. P. 121-154.

13. Bochkov A., Lesnykh V., Lukyanchikov M. Problem of Creation of Integrated Index of Assessment of Production Safety Condition at Hazardous Production Facilities / Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference. Edited by Michael Beer and Enrico Zio. Research Publishing, Singapore, 2019. P. 1643-1650. DOI:10.3850/978-981-11-2724-3 0077-cd

14. О некоторых способах выбора интегрального критерия качества в задачах оптимального проектирования машин / И.И. Артоболевский [и др.] // Изв. АН СССР. Машиноведение. 1978. № 2. С. 3-10.

15. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

16. Барсуков А.Н., Быков А.А., Лесных В.В. Формирование системы индикаторов и показателей внештатных и кризисных ситуаций на объектах ЕСГ // Промышленная и экологическая безопасность объектов газовой промышлен-

ности: Сб. науч. тр. М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2008. С. 76-86.

17. Об особенностях применения рискориентированного подхода при организации отдельных видов инспекционной контрольной деятельности в ПАО «Газпром» / М.И. Лукьянчиков [и др.] // Газовая промышленность. 2020. № 1 (795). С. 20-27.

18. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.

19. Гайдай А.А., Руссман И.Б. Непрерывный контроль процесса достижения цели // УБС. 2004. № 7. С. 106-113.

20. Берколайко М.З., Долгих Ю.В., Иванова К.Г. Трудности в смысле И.Б. Руссмана и оценка надежности управления // Вестник ВГУ (Серия: Системный анализ и информационные технологии). 2008. № 2. С. 5-9.

21. Берколайко М.З., Долгих Ю.В. Применение аппарата трудностей к оценке надежности управления организационными системами // Сборник трудов X Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». С-Пб., 2006. С. 28-34.

22. Коуден Д. Статистические методы контроля качества / Пер. с англ; под ред. Б.Р. Левина. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. 623 с.

23. Адлер Ю., Шпер В. Практическое руководство по статистическому управлению процессами. М.: Альпина Паблишер, 2019. 234 с.

24. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 36 с.

Сведения об авторе

Александр Владимирович Бочков – доктор технических наук, начальник отдела анализа и ранжирования объектов контроля Администрации ООО "Газпром газнадзор", Российская Федерация, Москва, e-mail: a.bochkov@gmail.com

Вклад автора в статью

Автором, в рамках единой концепции системы мониторинга за состоянием безопасности структурно-сложных систем и объектов, обобщены способы качественной оценки состояния безопасности двух видов: «лучше чем» (при определении некоторого целевого уровня, характеризующего состояние безопасности, которое надо достигнуть в идеале) или «не хуже чем» (при определении некоторого предельно допустимого уровня, характеризующего состояние безопасности, ниже которого недопустимо опускаться), подразумевающие некоторые интервалы отклонений от заданных целевого или, соответственно, минимально допустимого уровней, в пределах которых состояние безопасности, оцениваемое интегральным показателем, считается удовлетворительным.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Исследование отношения общества к внедрению беспилотного транспорта для пассажирских перевозок

Марина В. Кораблева^{1*}, Лариса И. Рогавичене¹

¹Национальный исследовательский университет ИТМО, Российская Федерация, Санкт-Петербург

*korablevamar@yandex.ru



Марина В.
Кораблева



Лариса И.
Рогавичене

Резюме. Цель. Получение первичных данных об отношении жителей Санкт-Петербурга к появлению беспилотных транспортных средств, выполняющих функцию общественного транспорта, выявлению возможных барьеров и преимуществ, готовности людей начать эксплуатацию инновационных транспортных средств. **Методы.** В работе применяются методы статистического анализа, проведение анкетирования, методы математического анализа. В работе представлена методика проводимого исследования и выдвинуты гипотезы, подтверждение или опровержение которых должно показать исследование. **Результаты.** В статье представлена взаимосвязь отношения респондентов к беспилотному пассажирскому транспорту от частоты их поездок на общественном транспорте. Определены достоинства и недостатки от внедрения беспилотного транспорта в городскую среду, отмечены респондентами. **Заключение.** В статье выявлено отношение жителей мегаполиса к внедрению беспилотного транспорта. Представлены результаты анкетирования жителей Санкт-Петербурга по выявлению их страхов и готовности использования беспилотного пассажирского городского общественного транспорта. Респонденты предпочитают не быть первыми, кто опробует инновационный транспорт, а предпочитают подождать опыта и мнения других людей. В первую очередь люди опасаются сбоев в системе и ее коммуникации как с пассажирами, так и с другими участниками дорожного движения, также отмечают проблемы юридического аспекта и уязвимость программного обеспечения перед возможными хакерскими атаками. Из преимуществ респондентами было отмечено, что при появлении на дорогах беспилотного транспорта повысится уровень соблюдения правил дорожного движения, снизится количество пробок и уменьшится риск возникновения дорожно-транспортного происшествия.

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство, инновации, городской пассажирский транспорт, инфраструктура.

Для цитирования: Кораблева М.В., Рогавичене Л.И. Исследование отношения общества к внедрению беспилотного транспорта для пассажирских перевозок // Надежность. 2020. №3. С. 47-52. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-47-52>

Поступила 25.05.2020 г. / После доработки 26.06.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

Введение

Сегодня беспилотные транспортные средства (БТС) уже не кажутся для человека чем-то фантастическим, как это было буквально несколько лет назад. Однако сейчас в различных странах по всему миру, в том числе и России, тестируются БТС [1, 2, 3]. Например, 26 ноября 2018 года премьер-министр РФ Д.А. Медведев подписал постановление о проведении тестирования БТС на дорогах общего пользования. Согласно этому постановлению, эксперимент будет длиться с 1 декабря 2018 г. по 1 марта 2022 г. в городе Москве и республике Татарстан [4].

Согласно концепции развития системы пассажирского транспорта в Санкт-Петербурге [5], в будний день в Санкт-Петербурге совершается 6830 тыс. поездок (100%), из которых 4980 тыс. передвижений (73%) – на пассажирском транспорте общего пользования и около 1850 тыс. поездок (27%) – на легковом автомобильном транспорте. Таким образом, несмотря на рост уровня автомобилизации, пассажирский транспорт обеспечивает реализацию 73% спроса на пассажирские передвижения, оставаясь базовым элементом транспортного комплекса Санкт-Петербурга.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на 2015 г. [6], во всем мире в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) ежедневно погибают более 3 тыс. человек и около 100 тыс. получают серьезные травмы.

Статистика автотранспортных аварий в России [7] показывает, что 2019 год стал более благополучным для водителей, чем предыдущий. Так, в 2018 году на дорогах было зафиксировано 168099 аварий. В 2019 году этот показатель снизился до 164358 или на 2,2%.

Из статистики ГИБДД [7] о причинах ДТП можно сделать вывод, что более 80% ДТП в России произошло по вине водителей.

В Санкт-Петербурге за 2019 год произошло 5529 ДТП по причине нарушения водителями транспортных средств правил дорожного движения (ПДД) [7], то есть в силу человеческого фактора.

Актуальность исследования заключается в том, что использование БТС позволит снизить количество ДТП на дорогах, произошедших по причине человеческого фактора. Однако не все жители мегаполиса готовы к тому, что по городу может курсировать беспилотный общественный пассажирский транспорт (БОПТ), ввиду каких-либо причин и страхов. Поскольку исследований, дающих понимание об отношении жителей Санкт-Петербурга к БТС как альтернативе традиционным автобусам, троллейбусам и трамваям, прежде не существовало, было принято решение о проведении онлайн-анкетирования с целью выявления существующих у жителей барьеров к переходу на БТС и их анализа.

Основной целью проводимого анкетирования является получение первичных данных об отношении жителей Санкт-Петербурга к появлению БТС, выполняющих

функцию общественного транспорта, выявлению возможных барьеров и выгод, готовности людей начать эксплуатацию инновационных транспортных средств.

Объектом исследования является мегаполис. Предмет исследования – отношение жителей Санкт-Петербурга к внедрению БОПТ.

Перед началом проведения анкетирования выделены следующие гипотезы:

1) мужчины в большей степени готовы к внедрению БОПТ, чем женщины;

2) люди 30 лет и моложе более расположены к использованию инновационных технологий, нежели респонденты из других возрастных категорий, а также они более осведомлены о наличии разработок БТС;

3) среди проблем использования БОПТ важными проблемами будут являться недоверие граждан к безопасности использования БТС, самой системе и возможным сбоям, отказам электроники, неумение техники правильно реагировать на дорожные ситуации;

4) предполагается, что из преимуществ внедрения БОПТ респонденты укажут в первую очередь на потенциальный рост безопасности на дорогах, снижение ДТП, соблюдение ПДД участниками на дорогах.

Методика исследования

Для проведения исследования предложена следующая методика:

1. Определение целевой аудитории.

2. Определение выборки.

3. Проведение исследования по составленной заранее анкеты с использованием открытых и закрытых вопросов.

4. Проведение обработки полученных результатов и формирование выводов.

1. Определение целевой аудитории

Целевой аудиторией проводимого в рамках исследования анкетирования стали жители города Санкт-Петербурга [8] в возрасте от 18 лет без иных ограничений. Генеральная совокупность составляет 4460446 чел., что соответствует численности жителей Санкт-Петербурга на 2019 год, достигших 18 лет.

2. Определение выборки

Для получения корректных данных необходимо опросить 384 жителя Санкт-Петербурга. Необходимый объем выборки рассчитан при доверительной вероятности равной 95% и доверительном интервале (погрешности) 5%.

Заочное анкетирование проводилось в январе и феврале 2020 года.

3. Проведение исследования

Анкета для опроса представляет собой 3 блока – титульный, общий и основной.

В титульном блоке респондентам было представлено описание БОПТ, указаны цели и задачи исследования, перспективы использования полученных результатов, а также информация о том, что все ответы собираются анонимно и являются конфиденциальными.

Общий блок предназначен для получения общей информации о респонденте. Здесь задавались вопросы

о поле респондента (мужской или женский), возрастной группе, где деление происходило на три участка: до 30 лет включительно, от 31 до 59 лет, от 60 лет и старше, частоте пользования общественным транспортом, и о его осведомленности о разработках в сфере БОПТ.

Основной блок состоит из ряда рейтинговых вопросов, направленных на выявление общественного мнения относительно обозначенной темы. В этом блоке респондентам предлагалось оценить свое согласие с утверждениями, отражающими предполагаемые проблемы, связанные с внедрением БТС. Согласие или несогласие предлагается обозначить при помощи шкалы Ренсиса Лайкерта [9] из 5 позиций, где крайняя левая – «Совершенно не согласен» соответствует числовому значению 1, а крайняя правая – «Полностью согласен» соответствует числовому значению 5. Кроме шкалы Р. Лайкерта в этот блок были включены открытые вопросы, целью которых было собрать информацию о том, какие опасения существуют у респондентов от внедрения инновационного общественного транспорта и какие он видит у него преимущества. Помимо вопросов о предполагаемых барьерах, участникам был задан вопрос об их общем отношении к идее внедрения БОПТ также со шкалой Р. Лайкерта из 5 позиций, где за 1 берется ответ «Очень отрицательно», а за 5 – «Очень положительно».

4. *Обработка полученных результатов и формирование выводов.*

В результате анкетирования было получено 472 ответа. После фильтрации, удаления неполных и дублирующих данных было получено 411 полноценных ответа от уникальных людей, из которых 197 (47,93%) – мужчин и 214 (52,07%) – женщин.

На основе полученных в результате анкетирования данных был составлен портрет респондента.

126 человек из опрошенных практически никогда не пользуются услугами общественного транспорта в повседневной жизни. 2-3 раза в неделю услугами общественного транспорта пользуются 75 человек, а 102 человека используют общественный транспорт 4-5 дней в неделю. Почти каждый день услугами общественного транспорта пользуется 108 респондентов. Это отражено на рис. 1.

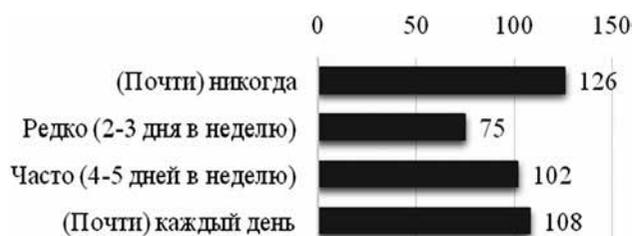


Рис. 1. Частота поездок респондентов на общественном транспорте

Результаты ответа на вопрос об осведомленности респондентов о беспилотном общественном транспорте представлены на рис. 2.

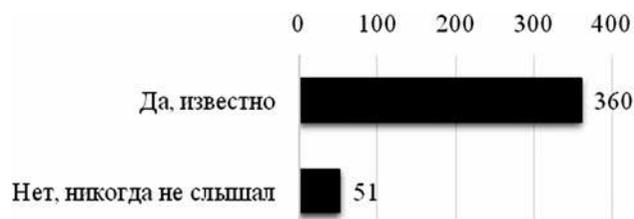


Рис. 2. Осведомленность респондентов о БТС

Как видно из рис. 2, всего 12% респондентов не знали о разработках в сфере БТС. Из 51 человека, которые никогда не слышали о разработках в сфере БТС, 63% (32 чел.) приходится на категорию людей от 60 лет и старше. Данное соотношение представлено на рис. 3.



Рис. 3. Соотношение осведомленности граждан о разработках БТС по возрастным группам

Как видно из рис. 3, люди до 30 лет включительно наиболее осведомлены об инновационных разработках (214 чел.), а люди 60 лет и старше – менее осведомлены. Их число составило всего 10 человек. 136 чел. в возрасте от 31 до 59 лет известно о разработках и всего 8 людям не известно. И 11 чел. ответили, так же, как и те, которым не известно о БТС, в возрасте до 30 лет включительно.

В качестве результатов по каждому из вопросов основного блока, имеющему шкалу Р. Лайкерта, было подсчитано среднее значение как в общем для всех участников анкетирования, так и с дифференциацией по выявленным группам. Полученные значения можно считать рейтингом отношения определенной группы жителей города к БОПТ.

По проведенному исследованию можно отметить, что респонденты достаточно позитивно относятся к БТС. Так, средняя оценка для всех опрошенных составила 3,95 балла.

Женщины, принявшие участие в исследовании, настроены к БТС более позитивно. Их средняя оценка составляет 3,58 балла. Мужчины же к инновации относятся более скептически и их средняя оценка равна 3,47. Данное распределение отношения к инновациям по полу изображено на рис. 4.

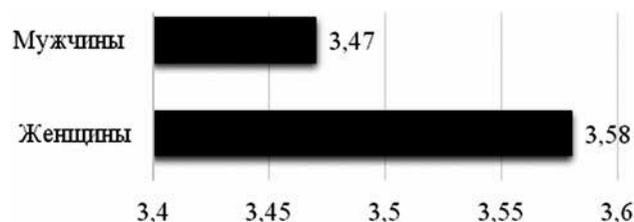


Рис. 4. Зависимость отношения к БТС от пола

Можно предположить, что мужчины более скептически относятся к БТС, потому что вождение автомобиля для них является неким хобби, к тому же, часто на дорогах не обходится без лихачества. Внедрение БТС подразумевает четкое соблюдение ПДД, поскольку искусственная система еще не научилась реагировать на непредвиденные ситуации на дорогах, в том числе внезапно перестроившийся автомобиль под управлением водителя может привести автономную машину в замешательство.

Из полученных ответов можно выделить то, что с повышением возраста у респондентов растет скептицизм к идее внедрения БОПТ в Санкт-Петербурге. Полученный рейтинг отношения возрастной группы к идее внедрения БТС изображен на рис. 5.

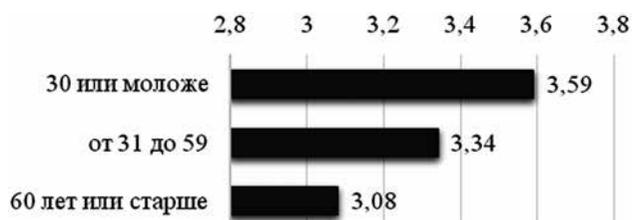


Рис. 5. Зависимость отношения к внедрению БТС от возраста

Молодые люди из первой возрастной группы более открыты инновациям, нежели респонденты из третьей группы. Они более открыты новым технологиям, в том числе и в области транспортных средств. Как показывает практика, люди в возрастной группе 30 лет и моложе более активно применяют современные альтернативные виды транспорта (например, моноколесо, электросамокат и другие) для передвижения по городу.

На рис. 6 представлена зависимость отношения к замене традиционного транспорта на БТС от частоты поездок.

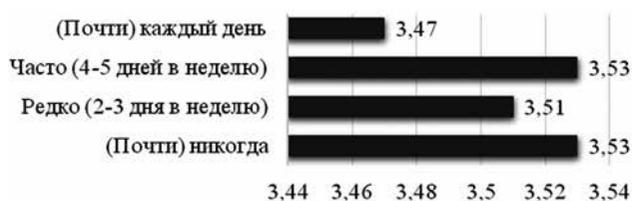


Рис. 6. Зависимость отношения к замене традиционного транспорта на БТС от частоты поездок

Средняя оценка людей, которые почти каждый день ездят на общественном транспорте, составляет 3,47 балла. Равное количество баллов (3,53) указали респонденты, которые ездят в общественном транспорте часто (4-5 дней в неделю) и те, кто почти никогда не использует общественный транспорт. Это говорит о том, что респонденты, имеющие личное транспортное средство или по иным другим причинам не использующие общественный транспорт, одинаково положительно относятся к БОПТ, что и опрошиваемые, которые часто передвигаются на общественном транспорте.

Как показало исследование (рис. 6), отношение людей к замене традиционного общественного транспорта на БОПТ практически не зависит от частоты использования ими системы общественного транспорта; полученные в данном разделе рейтинги близки к среднему значению в 3,5.

Значительная разница в рейтингах получилась у групп, сформированных по принципу осведомленности о разработках БТС, что можно увидеть на рис. 7.

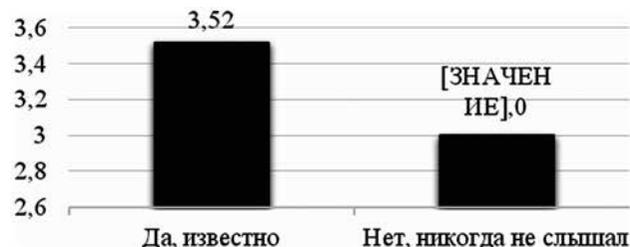


Рис. 7. Зависимость отношения к БТС от осведомленности

Как показывает исследование, большей части респондентов известно о проводимых разработках в области БТС. Это не удивительно, поскольку в Санкт-Петербурге часто проводятся выставки, посвященные БТС, проводятся форумы и конференции.

Из беспокойств, которые возникают у респондентов от внедрения БТС, можно выделить основные и наиболее часто встречающиеся:

- в первое время удивление водителей и пешеходов появлению на дорогах БТС, например, начнут видеозапись на телефон, и отвлечение от ситуации на дороге и управления транспортным средством;
- загрязнение камер и лидаров от идущих впереди автомобилей;
- связь с диспетчером при возникновении непредвиденной ситуации (стало плохо пассажиру, поломка БТС, замыкание);
- чрезмерная бдительность БТС в ночное время, в тумане, условиях плохой погоды;
- опасения сбоя работы программного обеспечения БТС;
- неготовность инфраструктуры к внедрению БОПТ.

Из преимуществ респонденты выделяют безопасность транспортного движения, уменьшение количество пробок, уменьшение риска возникновения ДТП и повышение уровня соблюдения ПДД, избавление от рутинного управления транспортным средством, появление новых профессий.

Однако для того, чтобы эти преимущества были воплощены в реальность, необходима осознанность горожанами, что БТС – это запрограммированная машина, которая работает по установленным алгоритмам и правилам, поэтому необходимо избегать возникновения на дорогах экстремальных ситуаций, не нарушая ПДД.

Согласно полученным результатам, участники анкетирования серьезно обеспокоены упомянутыми



Рис. 8. Уровень согласия с выявленными барьерами

проблемами от внедрения БОПТ. Практически все проблемы набрали средний балл выше трех, а 5 проблем из 6 набрали средний балл 4 и выше. Это наглядно видно на рис. 8.

Основной причиной беспокойства являются юридические вопросы, неподготовленность нормативно-правовой базы, в которой бы четко определялись зоны ответственности в случае происшествий. Практически также сильно респондентов тревожат последствия от возможных хакерских атак на систему управления БТС. Наименьшее беспокойство у участников анкетирования вызывает возможное сокращение рабочих мест в сфере транспорта, а также недостаток обученных и квалифицированных кадров, которые смогут обеспечивать стабильную, безопасную и эффективную работу БОПТ.

Заключение

В то время как автомобильные компании, новостные статьи, научные исследования уже повсеместно называют беспилотный транспорт следующим этапом развития мировой транспортной системы, в данном исследовании были обнаружены, оценены и проранжированы серьезные опасения будущих пассажиров относительно довольно радикальной инновации.

Женщины более позитивно расположены к внедрению БОПТ (их средняя оценка – 3,58), нежели мужчины (средняя оценка – 3,47).

Как показывает проведенное исследование, если человек сомневается в безопасности технологии или ее преимуществах, обычно он будет избегать ее использования.

Относительно выдвинутых в начале исследования гипотез можно отметить, что они подтвердились не все. Так, например, первое утверждение о том, что мужчины более расположены к присутствию инновационной технологии на дорогах, оказалось не верным. Следует отметить, что лишь 5% респондентов выразили очень негативное отношение к беспилотным транспортным средствам.

Вторая гипотеза подтвердилась, и действительно, молодое население Санкт-Петербурга в возрасте до 30 и моложе более открыто и восприимчиво к БТС. Возможно, это связано с тем, что молодое поколение все более зависимо от гаджетов и ближе к современным технологиям, которые хотели бы опробовать на себе, в том числе, использование в качестве городского пассажирского транспорта беспилотной техники. Однако было отмечено, что с повышением возраста у респондентов растет скептицизм к идее внедрения БОПТ.

Третья и четвертая гипотезы также получили свое подтверждение в процессе исследования. Меньше половины прошедших анкетирование горожан (30,4%) выбрали утверждение, что хотят быть первыми из числа пользователей БОПТ. На их долю пришлось 125 человек. Основная масса респондентов 214 человек (52,1%) предполагают дождаться опыта других пользователей и только после того, как убедятся в безопасности беспилотного транспорта, готовы его использовать. Никогда не стали бы пользоваться БОПТ 17,5% респондентов (72 человека).

Также в ходе проведения исследования было установлены проблемы, где главными были выделены юридический аспект и неподготовленность нормативно-правовой базы, возможные хакерские атаки, неопределенность того, как БТС будет реагировать на экстремальные ситуации.

Библиографический список

1. Коробеев А.И., Чучаев А.И. Беспилотные транспортные средства: новые вызовы общественной безопасности // Lex Russica. 2019. № 2 (147). С. 9–26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bespilotnye-transportnye-sredstva-novye-vyzovy-obschestvennoy-bezopasnosti> (дата обращения: 10.03.2019). DOI: 10.17803/1729-5920.2019.147.2.009-028
2. Мировой рынок автономных (беспилотных) автомобилей / О.Н. Покусаев [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование.

2018. № 3. С. 737–747. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-rynok-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley> (дата обращения: 11.03.2019). DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.737-747

3. Бром А.Е., Белоносов К.Ю. Исследование проблем внедрения беспилотных автомобилей в экономическую среду // Вестник Московского областного государственного университета. 2018. № 1. С. 23–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/issledovanie-problem-vnedreniya-bespilotnyh-avtomobiley-v-ekonomicheskuyu-sredu> (дата обращения 12.04.2019). DOI: 10.18384/2310-6646-2018-1-23-32

4. Об эксперименте по тестированию беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования // Новости – Правительство России: оф. сайт. URL: <http://government.ru/news/34837/> (дата обращения 12.04.2019).

5. Постановление от 23 января 2008 года № 44 «О Концепции развития системы пассажирского транспорта в Санкт-Петербурге, в том числе метрополитена и других видов скоростного транспорта, на период до 2020 года» // Техэксперт: электронный фонд нормативной и правовой документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/8467872> (дата обращения: 25.01.2020).

6. Статистика ДТП в России и в мире // Досье – Биографии и справки – ТАСС. URL: <https://tass.ru/info/3233185> (дата обращения: 28.10.2019).

7. Госавтоинспекция. Показатели состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 10.10.2019).

8. Управление Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области (ПЕТРОСАТ) «Возрастно-половой состав населения Санкт-Петербурга на 1 января 2019 года». Статистический бюллетень № ВС – 140/1148 от 20.12.2019. С-Пб, 2019. 58 с.

9. Дубина И.Н. Математические основы эмпирических социально-экономических исследований: Учебное пособие. Изд-во Алт. ун-та, 2006. 263 с.

Сведения об авторах

Кораблева Марина Викторовна – магистрант факультета технологического менеджмента и инноваций, Национальный исследовательский университет ИТМО, Российская Федерация, 191187, г. Санкт-Петербург, ул. Чайковского, д. 11/2, пом. 1-С, лит. А, e-mail: korablevamaru@yandex.ru.

Рогавичене Лариса Ивановна – доцент, кандидат экономических наук, ординарный доцент факультета технологического менеджмента и инноваций, Национальный исследовательский университет ИТМО, Российская Федерация, 191187, г. Санкт-Петербург, ул. Чайковского, д. 11/2, пом. 1-С, лит. А, e-mail: rogavichene@itmo.ru.

Вклад авторов в статью

Кораблева М.В. Провела анализ существующего состояния рассматриваемой проблемы исследования. Составила анкету исследования. Провела исследования отношения жителей г. Санкт-Петербурга к внедрению беспилотного транспорта. Обработка полученных результатов.

Рогавичене Л.И. Составление плана и гипотез исследования и анкеты исследования. Проведение исследования отношения жителей г. Санкт-Петербурга к внедрению беспилотного транспорта. Обработка полученных результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Выявление рисков киберугроз на базе построения событийно-сущностных онтологий по текстам из открытых источников

Михаил К. Ридли, МАИ (НИУ), Российская Федерация, Москва
mr@kalabi.ru



Михаил К. Ридли

Резюме. Цель. Основные результаты в области защиты от киберугроз в настоящее время получены в областях анализа трафика, выявлении зловредного программного обеспечения, блокировании злоумышленников от доступа во внутреннюю сеть, анализе инцидентов и других способах защиты корпоративного периметра. Между тем, эффективность этих методов зависит от своевременности и качества данных об угрозах. Целью работы является исследование способов повышения осведомленности о киберугрозах и возможностях анализа текстов в открытых источниках для задач прогнозирования кибератак, выявления и мониторинга новых угроз, обнаружения уязвимостей нулевого дня до их опубликования и обнаружения утечек. **Методы.** Для извлечения общественно доступных знаний о кибербезопасности используется непрерывный сбор данных из сети Интернет (включая фрагменты его неиндексируемой части и специализированные источники) и других сетей общего доступа (включая большое количество профильных ресурсов и площадок в сети TOR). Собранные тексты на разных языках анализируются с помощью методов обработки естественно-языковых текстов для извлечения из них сущностей и событий, которые затем группируются в канонические сущности и события, и вся эта информация используется для непрерывного наполнения событийно-сущностной онтологии, значимой для предметной области: в нее входят общие виды сущностей и событий, необходимые для контекста, и специализированные виды событий и сущностей для задач кибербезопасности (технические идентификаторы, векторы атаки, виды атак, хеши, идентификаторы и так далее). Такая онтология может функционировать как база знаний и использоваться для структурированных запросов от аналитиков в области компьютерной безопасности. **Результаты.** Предложенный метод и построенная на его базе система применимы для анализа информации о компьютерной безопасности, мониторинга, обнаружения уязвимостей нулевого дня до их официального опубликования и обнаружения утечек. Извлеченная системой информация может быть использована в качестве признаков с высокой информативностью в статистических моделях: на базе нее построен классификатор, определяющий риск появления эксплоитов для конкретной уязвимости, и балльная система скоринга IP-адресов, которая может использоваться для автоматической блокировки. Кроме того, был разработан метод рискованного ранжирования событий и сущностей, связанных с киберугрозами, который позволяет выявить среди всего обилия информации сущности и события, которые требуют особого внимания, а также вовремя принимать соразмерные предупредительные меры. **Заключение.** Предложенный метод имеет непосредственную практическую ценность в задачах аналитики, рискованного ранжирования киберугроз и мониторинга, а также может использоваться для анализа большого объема текстовой информации и создания информативных признаков для повышения качества работы моделей машинного обучения, используемых в компьютерной безопасности.

Ключевые слова: компьютерная безопасность, безопасность объектов железнодорожной инфраструктуры, извлечение знаний, семантическая разметка, онтология, обработка естественно-языковых текстов.

Для цитирования: Ридли М.К. Выявление рисков киберугроз на базе построения событийно-сущностных онтологий по текстам из открытых источников // Надежность. 2020. №3. С. 53-60. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-53-60>

Поступила 23.06.2020 г. / После доработки 18.07.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

Введение

За последнее десятилетие компьютерная преступность совершила скачок в развитии и стала большим конкурентным рынком. В 2016 году прямой ущерб мировой экономике составлял 3 миллиарда долларов, а в 2020 году – 6 миллиардов долларов. Эта сумма растет вместе с уровнем цифровизации: чем больше средств автоматизации, тем больше способов нарушить деятельность предприятия. В частности, за шесть недель работы малоизвестного немецкого проекта HoneyTrap, который имитировал системы управления железнодорожной инфраструктурой, было зафиксировано 2,3 миллиона атак [1].

Часто атаки на железнодорожную инфраструктуру приходятся на клиентские сервисы – например, из-за DDoS-атаки (распределенная атака, нацеленная на отказ в обслуживании) в мае 2018 года пассажиры датской железной дороги (DSB) лишились возможность приобретения билетов как через Интернет, так и через стационарные терминалы. Атаки на системы управления случаются реже, но они опаснее: например, в октябре 2017 года транспортная система Швеции лишилась системы мониторинга местоположения железнодорожных подвижных составов и маршрутно-картографических сервисов. Кроме того, случаются атаки в отношении SCADA-систем (системы диспетчерского управления и сбора данных): например, инцидент с заражением вирусом Stuxnet центрифуг на заводе по обогащению урана в Иране или атака на атомную электростанцию в США, расположенную в штате Канзас.

ОАО «РЖД» проводит активную работу в отношении киберзащиты железнодорожной инфраструктуры: в частности, в 2016 году был запущен совместный проект ОАО «РЖД», Positive Technologies и АО НИИАС¹, в котором исследовано устройство сигнализации, централизации и блокировки EBI Lock 950, которое через объектные контроллеры управляет напольными устройствами типа поездов, рельсовых цепей и стрелочных приводов.

Важно, что технологическое обеспечение ОАО «РЖД» является разнородным: на входящих в состав ОАО «РЖД» шестнадцати железных дорогах используются разные виды оборудования и протоколов. На верхнем уровне используется около 100 автоматизированных систем управления, а на нижнем (локальном) – десятки тысяч микропроцессорных систем управления движением поездов почти 70 различных типов [2].

В настоящее время фокус смещен в сторону защиты и отражения известных атак. Например, описанный выше проект был завершён внедрением системы Positive Technologies Industrial Security Incident Manager. Безусловно, это было верным шагом: за один только 2018 год количество доступных из сети Интернет компонентов систем управления технологическим процессом в России выросло в 1,5 раза, как выросло и число уязвимостей, которые могут использоваться удаленно без привилегированного доступа.

Тем не менее, защиты периметра и анализа трафика недостаточно: нужна возможность оперативного осведомления о новых уязвимостях, о проводимых в мире кибератаках (в том числе запланированных), о действиях хактивистов, об атаках на родственные классы систем и так далее. Подобный мониторинг входит в перечень значимых рекомендаций для объектов железнодорожной инфраструктуры [3]. К примеру, это позволяет отреагировать на уязвимость, которую обнаружили в одном из используемых программных решений, за недели до ее официального опубликования.

Известно, что в открытых источниках информация об уязвимостях и эксплоитах часто появляется до попадания в используемые всеми базы данных CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) и NVD (National Vulnerability Database), причем разрыв может составлять месяцы [4]. Часто такая информация появляется в системах отслеживания ошибок программного обеспечения с открытым исходным кодом, в социальной сети Twitter, в тематических блогах, в сервисах вопросов и ответов для программистов типа StackOverflow, в почтовых рассылках, на хакерских форумах и на торговых площадках в анонимных сетях. Для эффективного мониторинга аналитикам в области компьютерной безопасности необходимы методы автоматического извлечения информации из текстов в сетях общего пользования – включая некоторые неиндексируемые сегменты Интернета и анонимные сети типа TOR. Такой мониторинг позволит не только выявлять новые угрозы и идентифицировать риски в области кибербезопасности, но и более полно и системно подходить к анализу и скорингу угроз.

Мониторинг подобных источников – это способ автоматического отслеживания уязвимостей нулевого дня, которые особенно опасны и часто незаметны для анализа сетевого трафика. К таким уязвимостям относятся те, против которых еще не разработаны или не выпущены защитные механизмы, что позволяет злоумышленникам свободно их использовать до момента публикации исправлений, а также мешает защитным средствам обнаруживать попытки их эксплуатации. Это также эффективный инструмент для оперативного поиска утечек информации, подобной случившейся в июне 2019 года краже сотен тысяч документов с внутренних ресурсов ОАО «РЖД»². Поскольку злоумышленники часто ищут способы монетизации украденного, они размещают объявления на специальных площадках, где утечка будет обнаружена через несколько минут после публикации.

Построение событийно-сущностных онтологий для прикладных баз знаний

Один из способов концептуализации информации из текстов – это построение онтологии на базе описанных

¹ Источник: <https://bit.ly/2YkAQ4N>

² Источник: <https://www.kommersant.ru/doc/4252728>

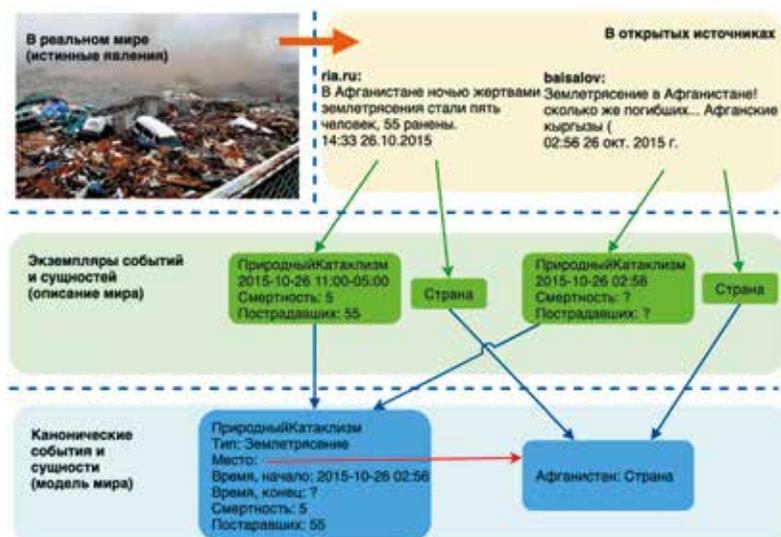


Рис. 1. Пример описания реальных явлений через канонические события и их упоминания

в них фактов. В таких онтологиях представляются понятия предметной области, отношения между ними и их атрибуты. Для их извлечения в соответствии с мета-онтологией (онтологией верхнего уровня, описывающей конкретную онтологию) применяются инструменты компьютерной лингвистики, правила сопоставления типа шаблонов Херста и регулярных выражений, статистические модели.

Автоматическое построение онтологий чаще всего используется для создания универсальных онтологий, основанных на лингвистических категориях типа гипоним/гипероним и мероним/холоним, отношениях IS-A, INSTANCE-OF и других. Это актуально для многих задач искусственного интеллекта, но не для задач по представлению и накоплению прикладных знаний.

Для построения баз знаний практичнее использовать автоматически пополняемые событийно-сущностные онтологии. Автором ранее была разработана информационно-аналитическая система, которая

извлекает из источников тексты, проводит их анализ, строит онтологию, а затем предоставляет ее пользователю как базу знаний [5]. Система разработана для новостных и политических приложений, а также для гражданской авиации [6]. Одна из задач настоящей работы – адаптация системы для анализа и мониторинга киберугроз.

Подход событийно-сущностных онтологий подразумевает, что мир моделируется путем отделения документов от того, о чем в них говорится – о канонических сущностях и событиях, которые соответствуют реальным людям, технологиям, компаниям, встречам, бизнес-транзакциям, атакам и политическим событиям. Каждой канонической сущности и каждому каноническому событию могут соответствовать несколько экземпляров, которые соотносят упоминания канонических объектов в текстах со временем, местом и прочей контекстной информацией, как это проиллюстрировано на рис. 1. Подобная онтология позволяет осуществлять структурированные запросы к базе

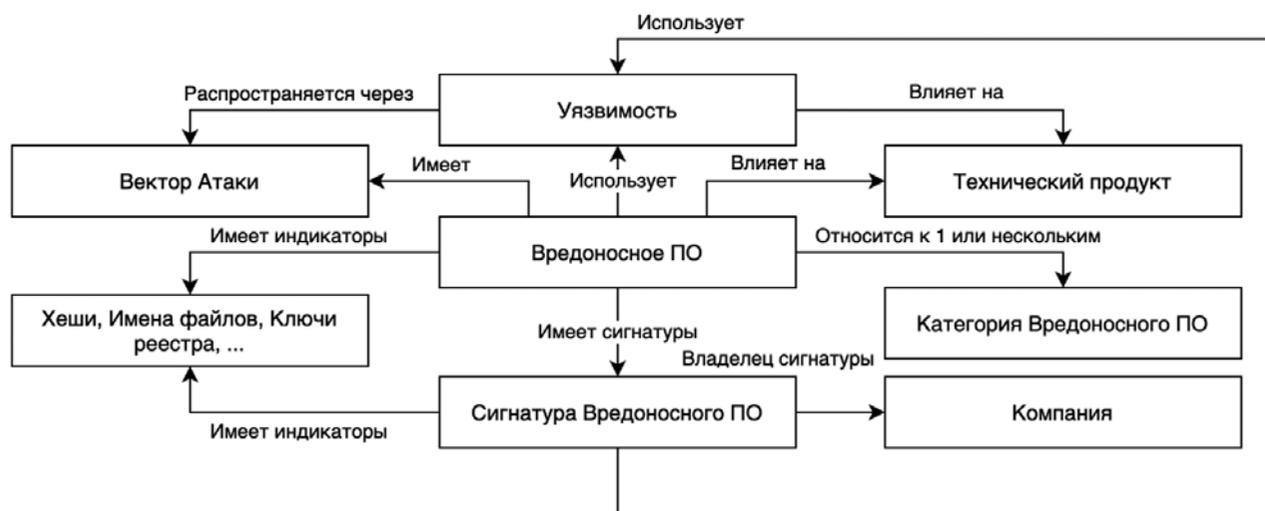


Рис. 2. Фрагмент мета-онтологии сущностей в области кибербезопасности



Рис. 3. Схема событий типа «Кибератака»

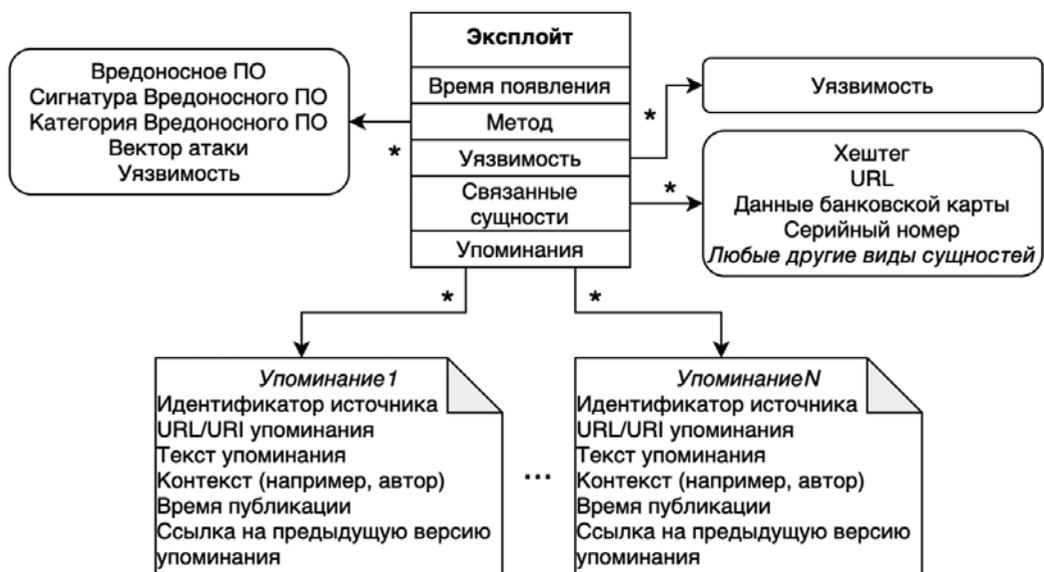


Рис. 4. Схема событий типа «Эксплоит»

знаний: можно узнать технические идентификаторы, связанные с атакой, получить список источников, публиковавших информацию об атаке, узнать, какие типы системы могут быть атакованы с помощью конкретного эксплойта, кто и где продает конкретный набор эксплойтов и другие вопросы, сводящиеся к фильтрации по атрибутам.

Мета-онтология, на базе которой производится непрерывное обновление событийно-сущностной онтологии по текстовым упоминаниям, была дополнена под задачи кибербезопасности. За основу взята онтология кибербезопасности для критической инфраструктуры, которая была переработана под события и сущности [7]. Мета-онтология в части сущностей проиллюстрирована на рис. 2, а в части событий – на рис. 3 и 4.

Реализация анализа текстов для построения событийно-сущностных онтологий

Из текстов на разных естественных языках необходимо извлекать сведения о сущностях (персоны, организации, номера карт, почтовые адреса, хеши, IP-адреса, сигнатуры программного обеспечения, имена файлов и т.д.) и событиях (поглощения компаний, политические протесты, кибератаки, банкротства и другие).

В системе используются пять готовых инструментов анализа естественно-языковых текстов (табл. 1) и набор собственных средств для экзотических сущностей (хеши, серийные номера, коды уязвимостей, фрагменты кода и т.д.). Разработанные средства

Таблица 1. Используемые готовые инструменты компьютерной лингвистики

StanfordNLP	Tomita-парсер	OpenCalais	OpenNLP	Rosette EX
<i>Поддерживаемые языки</i>				
Английский, немецкий, испанский, китайский	Любой, задается словарями и грамматиками	Английский	Европейские языки	55 языков (включая русский, арабский и китайский)
<i>Основные интерфейсы</i>				
API, библиотеки JAVA и Python, web-интерфейс	Консольное приложение, API	API, web-интерфейс	Библиотека JAVA	API, web-интерфейс
<i>Наиболее развитая ветвь функциональности (используется в системе)</i>				
Выделение сущностей с применением статистических алгоритмов и нейронных сетей	Построение грамматик и выделение сущностей при помощи словарей	Выделение сущностей и событий на основании новостной онтологии	Выделение сущностей с применением статистических алгоритмов и нейронных сетей	Выделение сущностей, фактов, разрешение кореферентности
<i>Рекомендуемые разработчиками способы вывода</i>				
JSON, XML, CoNLL, графический	Формат вывода задается грамматикой	RDF, XML, графический	XML	XML, графический

извлечения используют правила на регулярных выражениях или метод условных случайных полей (CRF), чья особенность заключается в отсутствии необходимости в моделировании вероятностных зависимостей между наблюдаемыми переменными и

проблемы смещения метки как у марковской модели максимальной энтропии.

Извлеченные сущности и факты сопоставляются и разрешаются согласно онтологии с целью уточнения их значения и разрешения кореферентности. Онтологии

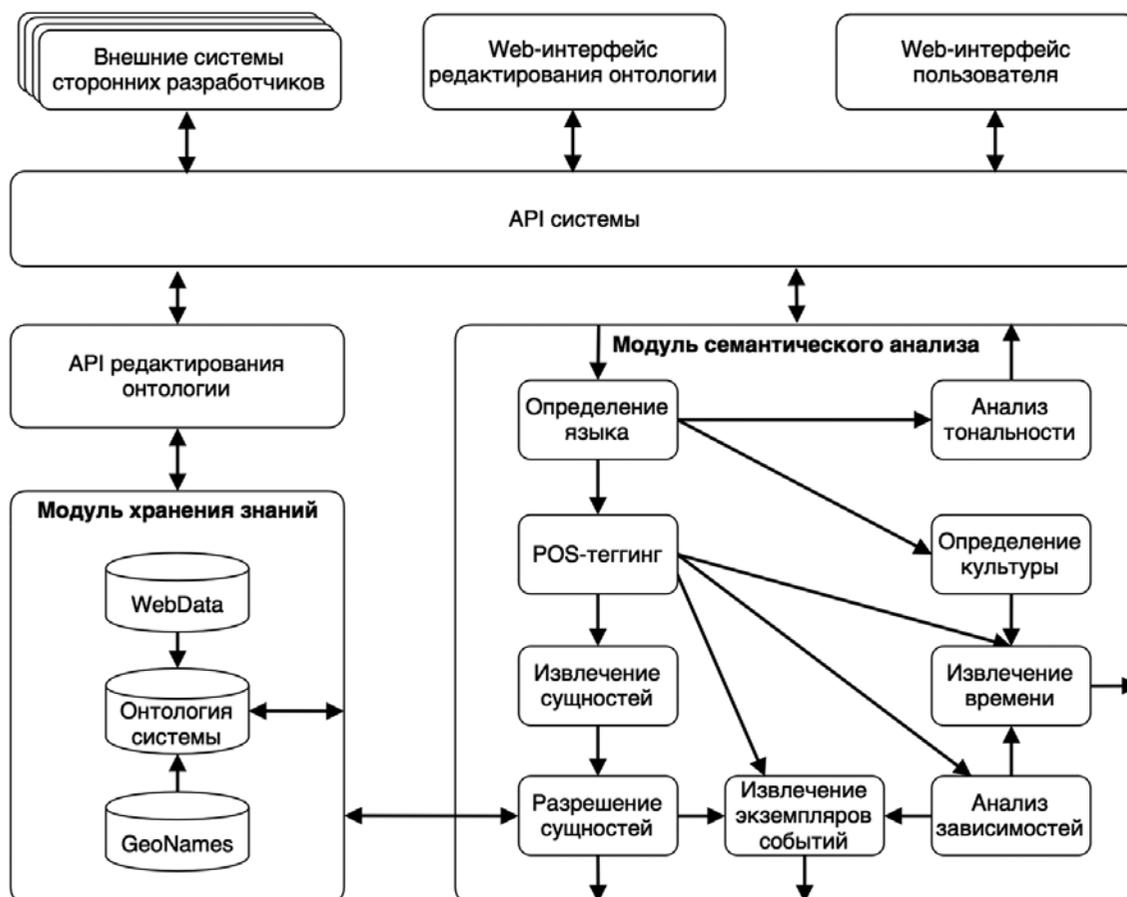


Рис. 5. Верхнеуровневая архитектура подсистемы лингвистического анализа

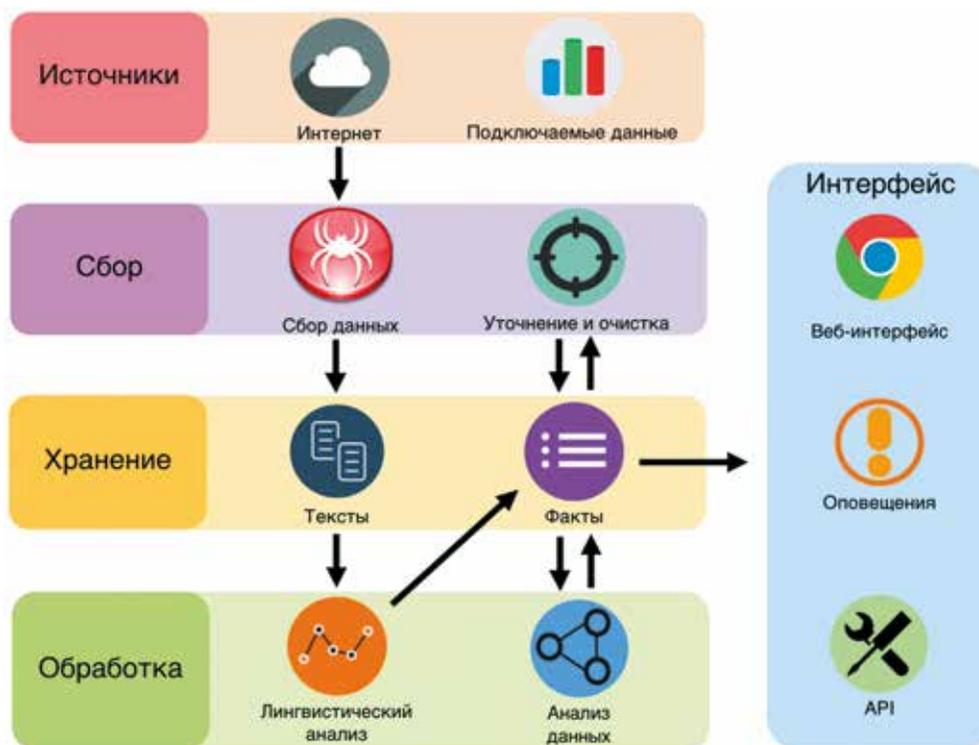


Рис. 6. Верхнеуровневая функциональная схема системы

структурированных отношений между сущностями используются для управления процессом фильтрации и в качестве газеттира для улучшения процесса извлечения.

Получив набор отфильтрованных сущностей, модуль, отвечающий за извлечение высказываний, связывает эти сущности с событиями, упоминаемыми в документе. Событиям присваивается фрагмент текста из документа, наилучшим образом кратко его представляющий – при этом решается задача автореферирования. Для каждого фрагмента анализируется эмоциональная тональность.

Далее факты подвергаются временному анализу. Культурные и региональные категории извлекаются из документа для учета полушария, первого дня недели и

формата дат. События могут быть как случившимися, так и ожидаемыми. Будущие события либо запланированы (дни выборов), либо спекулятивны (предположения о том, когда правильнее выйти на митинг). В частности, это позволяет заранее реагировать на действия хактивистов типа группировки Anonymous и выпуск исправлений от производителей программного обеспечения.

В итоге события помечаются типом, временным интервалом, вовлеченными сущностями, их ролями (каким атрибутам события они присваиваются), эмоциональной тональностью, и источником. Схематично архитектура подсистемы лингвистической обработки изображена на рис. 5. Она представляет собой независимую систему,



Рис. 7. Техническая архитектура системы с точки зрения потока данных

интегрированную с основной системой, рассматриваемой в следующем разделе работы.

Архитектура и реализация системы сбора и анализа данных на базе онтологий

На рис. 6 изображена Верхнеуровневая архитектура системы.

Подсистема сбора отвечает за получение текстовых данных из ресурсов сети Интернет. На вход она получает список заранее заданных и настроенных ресурсов и выполняет регулярное извлечение данных с них. Выходом системы является поток неструктурированных текстов с указанием времени сбора, контекста и ресурса-источника.

На вход *подсистемы лингвистической обработки* поступают очищенные тексты из подсистемы сбора. Выходом подсистемы является список сниппетов (текстовых фрагментов), размеченных на языке XML с выделением в тексте сущностей, событий и временных и географических меток. Это единственное место в системе, зависящее от языка: поддержка нового языка требует создания нового модуля в этой подсистеме, а вся остальная система оперирует либо «сырыми» текстами, либо независимыми от языка фактами.

Подсистема хранения принимает на вход размеченные сниппеты и разбирает их, после чего извлеченные факты помещаются в хранилище, а также принимает запросы от внешних систем. Доступ к хранилищу фактов предоставляется через интерфейс программирования приложений (API) в формате JSON в соответствии с принципами REST API. Выходом подсистемы являются срезы онтологии (наборы фактов, событий и сущностей, а также их метрики типа важности), соответствующие API-запросу.

Хранилище фактов просматривают и изменяют модули *подсистемы интеграции данных*, занимающиеся обогащением и уточнением данных. Эта подсистема ослабляет неправдоподобные события и усиливает резонансные, попутно обогащая их дополнительной структурой и формируя канонические события и сущности.

Система является распределенной и имеет микросервисную архитектуру (рис. 7). Компоненты коммуницируют через очереди сообщений RabbitMQ, порождая порядка 4000 сообщений в секунду. Для хранения базы знаний используется NoSQL-хранилище MongoDB (9 шардов с ролями чтения и записи), а для сниппетов используется система полнотекстового поиска Elasticsearch (7 шардов). Метаданные для ста документов в среднем занимают 1 Мб.

Результаты применения метода в прикладных задачах

Мониторинг и аналитика в области компьютерной безопасности и прогнозирования.

Конструируемая событийно-сущностная онтология напрямую используется для прогнозирования атак

хактивистов, обнаружения уязвимостей нулевого дня и поиска утечек. Другое прямое применение – анализ информации о компьютерной безопасности: какие сущности и через что связаны с набором эксплоитов, какие методы использует конкретная группировка, какие секторы экономики в настоящее время под угрозой и так далее.

Раннее обнаружение уязвимостей нулевого дня.

Обнаружено, что 77% уязвимостей из списка CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) в отношении Linux были известны до их опубликования в качестве уязвимостей нулевого дня, а средняя задержка между первым упоминанием и датой официального обнаружения – 19 дней. При этом все опубликованные в CVE уязвимости можно было найти в социальной сети Twitter [8].

Создание признаков с высокой информативностью для машинного обучения.

Получаемая в итоге и постоянно пополняемая база знаний фактов о мире кибербезопасности может использоваться для создания признаков с высокой информативностью в моделях машинного обучения, как это показано в следующей задаче.

Определение риска появления эксплойта для уязвимости.

Используя обучение с учителем на базе метода опорных векторов, был получен классификатор, который для каждой конкретной уязвимости предсказывает, будет ли для нее создан эксплойт, с точностью 0,79 и полнотой 0,80. Сбалансированная обучающая выборка состояла из 7000 примеров уязвимостей. Классификатор предсказывает риск эксплуатации конкретной уязвимости и подходит для приоритизации работ по разработке мер противодействия, экстренной изоляции уязвимых систем при высоком риске и так далее.

Балльный скоринг IP-адресов.

Скоринг IP-адресов позволяет аналитикам в области кибербезопасности принять решение о дальнейшем анализе, а в ситуации повышенной готовности осуществлять автоматическое блокирование IP-адресов для усложнения доступа для атакующих. Важно отметить, что рынок компьютерной преступности коммодитизирован и предоставляет возможности аренды ботнет-сетей и специализированной инфраструктуры для проведения атак. Поэтому меры по блокировке рискованных IP-адресов на практике весьма эффективны, особенно против DoS-атак, направленных на отказ в обслуживании систем.

Рисковое ранжирование событий и сущностей в области кибербезопасности.

Риск сущности или события вычисляется на базе динамики упоминания, наличия значимых атакуемых целей и разнообразия языка в упоминаниях. Все признаки вычисляются по скользящему среднему для оцениваемой сущности, поскольку упоминания часто носят характер «всплесков» (день-ночь, рабочие дни-выходные и т.д). Уровень критичности для сущностей

основан на количестве упоминаний событий-кибератак/эксплойтов, происходящих сегодня или в течение следующего месяца, и включающих сущность. Общий объем упоминаний в отношении какой-либо сущности не влияет на изменение уровня критичности: маленькие всплески и аномалии влияют сильнее, поскольку в кибербезопасности важнее не известное положение дел, а отклонения от него.

Разнообразие языка в упоминаниях оценивается по повторяемости описательной лексики. При этом описания на разных языках считаются различными. Подобная метрика позволяет отличать события, вызывающие реальные обсуждения (признак того, что событие лично затрагивает чьи-то интересы), и позволяет избавиться от завышения оценки, которое во многих системах мониторинга социальных сетей случается из-за повторов.

Заключение

В работе показано, что использование событийно-сущностных онтологий в решении задач кибербезопасности имеет собственную прикладную ценность, а кроме того – может быть значимой составной частью или вспомогательным механизмом в других методах.

Другим результатом является высокая информативность признаков на базе извлеченной информации при их применении в моделях машинного обучения, что позволяет повысить качество моделей, используемых в области кибербезопасности для задач выявления аномалий, экстраполяции и прогнозирования, классификации и кластеризации, поиска закономерностей и ассоциаций.

Теоретический результат заключается в возможности предобработки корпуса текстов, которая позволяет использовать классические количественные и категориальные методы в отношении текстов путем выделения из них информации.

В дальнейшем целесообразно исследовать применимость метода для анализа журналов (в том числе внутри периметра), переписки (поиск утечек), мониторинга социальных сетей, анализа документов в области кибербезопасности.

Библиографический список

1. Kühner H., Seider D. Security Engineering für den Schienenverkehr // Eisenbahn Ingenieur Kompendium. 2018. P. 245-264.
2. Макаров Б.А. Актуальность кибербезопасности на железнодорожном транспорте // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2015. № 3 (31). С. 10-15.
3. Киселева Е.М. Железная дорога как объект киберзащиты // Международный студенческий научный вестник

[Электронный ресурс]. URL: <http://www.eduherald.ru/article/view?id=19179> (дата обращения: 15.06.2020).

4. McNeil N., Bridges R.A., Iannacone M.D. et al. Pace: Pattern accurate computationally efficient bootstrapping for timely discovery of cyber-security concepts // 12th International Conference on Machine Learning and Applications. 2013. Vol. 2. P. 60-65.

5. Кузьмина Н.М., Ридли М.К. Об автоматическом построении в информационных системах гражданской авиации онтологий предметной области по корпусу текстов // Научный вестник ГОСНИИ ГА. 2018. № 21. С. 122-131.

6. Кузьмина Н.М., Ридли М.К. Архитектура системы построения онтологий предметной области и смыслового поиска в задачах совершенствования функционирования авиатранспортной системы // Научный вестник ГОСНИИ ГА. 2019. № 28. С. 103-113.

7. Bergner S., Lechner U. Cybersecurity Ontology for Critical Infrastructures // Proceedings of the 9th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. 2017. Volume 2: KEOD. P. 80-85.

8. Trabelsi S., Plate H., Abida A. et al. Mining social networks for software vulnerabilities monitoring // 7th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS). 2015. P. 1-7. DOI: 10.1109/NTMS.2015.7266506

Сведения об авторе

Ридли Михаил Кристофорович – аспирант Московского Авиационного Института (Национальный Исследовательский Университет), Российская Федерация, Москва, e-mail: mr@kalabi.ru

Вклад автора в статью

Автором Ридли М.К. выполнен анализ предметной области, предложен метод извлечения информации из открытых источников на базе событийно-сущностных онтологий, доработана ранее разработанная автором информационно-аналитическая система для извлечения и хранения знаний в форме событийно-сущностных онтологий под предметную область кибербезопасности, решены пять прикладных задач (мониторинг и аналитика в области кибербезопасности, раннее обнаружение уязвимостей нулевого дня, определение риска создания эксплойта на базе уязвимости, балльный скоринг IP-адресов, рисковое ранжирование событий и сущностей в области кибербезопасности).

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Способы количественной оценки и уменьшения неопределенности аварийного риска взрывопожароопасных объектов

Евгений Ю. Колесников, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,
Российская Федерация, Йошкар-Ола
e.konik@list.ru



Евгений Ю.
Колесников

Резюме. С целью обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов в настоящее время, наряду с традиционным надзорным, применяется риск-ориентированный подход, являющийся значительно более гибким. Процедура количественной оценки аварийного риска опасных производственных объектов по существу является одной из процедур оценки соответствия, поскольку включает сравнение полученных в результате расчета (либо экспертизы) показателей риска с их нормативными значениями. **Целью** статьи является постановка проблемы неопределенности, сопутствующей всем этапам процедуры количественной оценки аварийного риска, краткий исторический экскурс, анализ ее типов и источников, описание подходов, применяемых для количественной оценки этой неопределенности. В настоящее время принято выделять терминологический, параметрический и модельный типы неопределенности, в статье приведены их примеры. Анализ показывает, что к ним следует добавить четвертый – вычислительный тип – вклад которого в ряде случаев может быть значительным. Показано, что в силу ряда обстоятельств, скалярные числа, обычно используемые для задания значений параметров физико-математических моделей аварийных процессов, на самом деле являются лишь маркерами интервалов, в которых может меняться их величина. Для учета неопределенности величины параметров аварийного риска в настоящее время используются вероятностные и детерминированные подходы, а также нечеткие числа.

Методы. Для целей количественной оценки неопределенности в статье используются методы интервального анализа. В наиболее общем случае без привлечения гипотезы о поведении величины параметра внутри диапазона его возможных изменений параметрическая неопределенность может быть задана интервальным числом. В таком случае все необходимые расчеты выполняются интервальными методами. Естественная (наивная) версия интервального анализа обладает серьезным недостатком, заключающимся в необоснованном увеличении ширины интервального числа, являющегося результатом интервальных расчетов, если один или несколько входных параметров модели входит в расчетное соотношение неоднократно, либо входные параметры функционально взаимозависимы. В современном интервальном анализе разработаны методы нивелирования этого эффекта, кратко описанные в статье. Показано, что при наличии статистической информации о поведении величины параметров в пределах интервалов их изменения результаты интервальных вычислений показателей аварийного риска могут быть значительно улучшены. Предложенный метод уменьшения вычислительной неопределенности количественной оценки аварийного риска в интервальной постановке проиллюстрирован на численном примере расчета показателей риска для сценария аварии «огненный шар». Приведены результаты интервального расчета индивидуального аварийного риска для взрывопожароопасного объекта «резервуар с легковоспламеняющейся жидкостью» тремя способами: а) наивным; б) с принятием мер по учету влияния взаимозависимости параметров; в) дополнительно, с учетом имеющейся статистической информации.

Выводы. Интервальные методы позволяют не только учитывать наличие неопределенности у параметров аварийного риска, но и непосредственно количественно оценивать ее. Существуют эффективные способы нивелировать негативные особенности интервальных вычислений.

Ключевые слова: промышленная безопасность, аварийный риск, параметрическая неопределенность, интервальные методы расчета, минимизация вычислительной неопределенности.

Для цитирования: Колесников Е.Ю. Способы количественной оценки и уменьшения неопределенности аварийного риска взрывопожароопасных объектов // Надежность. 2020. №3. С. 61-67. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-3-61-67>

Поступила 16.06.2020 г. / После доработки 04.07.2020 г. / К печати 21.09.2020 г.

Введение

Крупнотоннажный оборот опасных и особо опасных веществ, в том числе горючих, на опасных производственных объектах (ОПО) чреват неконтролируемыми выбросами и утечками, следствием которых могут быть взрывы и пожары, токсическое поражение людей и загрязнение больших территорий. Взрывы возможны и внутри производственного оборудования, если параметры технологического процесса выйдут за пределы безопасного диапазона.

Наряду с традиционным, надзорным подходом в обеспечении промышленной безопасности на протяжении последних двух десятилетий в России используется альтернативный подход, основанный на методологии анализа и количественной оценки риска аварий (КОР). Риск-ориентированный подход является значительно более гибким, дружественным к технологическим инновациям, нежели традиционный, поскольку, не накладывая ограничений на конкретные технические решения, вместо мелочной регламентации множества параметров конструкции и технологического процесса он требует лишь, чтобы величина ряда целевых показателей (индивидуального, социального риска аварии) не превышала нормативных значений, [1].

Процедура КОР ОПО по существу является одной из процедур оценки соответствия, поскольку включает сравнение полученных в результате расчета (либо экспертизы) показателей риска с их нормативными значениями.

Методология КОР зародилась и получила свое развитие практически одновременно в Старом (для объектов химической промышленности) и Новом Свете (объектов ядерного цикла и астронавтике). Уже на первом этапе применения методологии анализа риска было осознано, что многие параметры задачи (например, свойства опасного объекта и окружающей его обстановки) в реальных условиях варьируют, меняются в пределах некоторых диапазонов. Чтобы учесть эти вариации, на первых порах количественные оценки риска выполняли по самому консервативному сценарию, при котором количество опасного вещества, участвующего в аварии – наибольшее, метеоусловия и расположение объектов-мишеней в зоне поражения – самые неблагоприятные.

Однако со временем от консервативного подхода отказались, поскольку вероятность одновременного сочетания всех этих маргинальных условий слишком мала. В качестве альтернативы при оценке аварийного риска было предложено ориентироваться на «средние» величины параметров. С нашей точки зрения этот подход также неудовлетворителен, поскольку: а) создает опасную иллюзию получения «точной» оценки показателя риска; б) не позволяет оценить диапазон, в котором на самом деле меняется (или может находиться) величина показателя. Подобные изменения величины параметра принято называть и количественно оценивать его неопределенностью (параметрической).

Типы неопределенности результатов количественной оценки риска

Неопределенность сопровождает все этапы процедуры КОР, как, впрочем, и любое математическое моделирование. Причины этого факта, отчасти объективные, отчасти – субъективные, проанализированы в [2]. Для целей количественной оценки неопределенности (КОН) аварийного риска и принятия мер по ее сокращению важно классифицировать неопределенность по происхождению. Принято различать терминологический, параметрический и модельный типы неопределенности. К этому ряду следует добавить вычислительную неопределенность, обусловленную особенностями применяемых при моделировании вычислительных методов.

Терминологическая неопределенность обусловлена не только нечетким, неоднозначным определением используемых терминов и понятий в Руководствах по КОР, но и различным их толкованием специалистами. Последнее обусловлено различным менталитетом людей – различиями в базовом образовании, стандартах и стереотипах профессиональной среды, в которой они живут и работают. Следует отметить, что терминологическая неопределенность (неоднозначное толкование термина, понятия, параметра) имеет, наряду с очевидным качественным, и ярко выраженный количественный аспект. Это можно видеть на примере параметра «длина пламени» L (пожара пролива, факела). Большая часть Руководств по КОР точного и однозначного толкования данного параметра не дает, что чревато серьезными различиями:

- а) « L – усредненная высота (длина) пламени, м, [3];
- б) « L_f – длина усеченного конуса (пламени факела), [3];
- в) « L – видимая длина пламени, м, [4].

Между тем смысл этого параметра не так очевиден, как кажется, ситуация совершенно аналогична случаю с параметром «диаметр огненного шара» D_f . Дело в том, что следует различать понятия «видимая» длина пламени («видимый» диаметр шара) и понятие «размер области, эффективно излучающей в инфракрасном диапазоне». По данным CPR-14E [3] в случае пожара пролива заданная двумя этими способами величина L может различаться до трех раз! Только Руководство CCPA AICHe [4] четко указывает, что оно понимает под средней длиной пламени. Между тем данный параметр влияет на величину поражающего фактора аварии – интенсивность падающего на объект-мишень теплового потока I , кВт/м².

Параметрическая неопределенность означает, что величине параметра модели (задачи) не может быть приписано точное (точечное, скалярное) значение. Это обусловлено тем, что величина параметра:

- а) либо объективно варьирует, как температура воздуха и скорость ветра (если ОПО расположен на открытой местности), или количество опасного вещества в аппарате в момент аварии и т.п., которые точно не известны;

б) либо принята в результате измерений, которые неизбежно сопровождаются измерительной неопределенностью;

в) либо приведена в справочной литературе в виде интервала;

г) либо из-за скудности имеющейся информации принята экспертно на основании аналогии, экстраполяции и т.п.

Параметрическая неопределенность, возникающая вследствие двух первых обстоятельств, называется стохастической (aleatory), природа ее объективна. Напротив, неопределенность, обязанная причинам в) и г), субъективна, ее называют эпистемической (epistemic). Объективная неопределенность принципиально неустранима, в то время как неопределенность эпистемическая может быть уменьшена, и это по возможности всегда следует делать.

Модельная неопределенность при выполнении КОР (и не только) возникает при использовании для описания Природы любых физико-математических, математических, имитационных и иных моделей. Очевидно, что поскольку любая модель упрощает, загроубляет моделируемый объект или процесс, имеет ограниченную область применимости, постольку результат моделирования всегда будет отличным от реальности. Это является фактом уже потому, что в рамках естественнонаучной парадигмы именно опыт принят в качестве основного критерия истинности теории, а из-за наличия измерительной неопределенности (по-старому – погрешности) результат расчета по самой совершенной модели никогда точно не совпадет с результатами эксперимента. При выполнении КОР ОПО в настоящее время используется несколько альтернативных моделей, описывающих протекание аварийных сценариев, формирование поражающих факторов аварии, вероятность причинения ущерба объектам-мишеням. Достаточно назвать хотя бы модели, рекомендуемые [3-6], хотя в авторитетной трехтомной монографии [7] подобных моделей приведено десятки. Неоднократно было показано, что различие результатов количественной оценки риска, полученных с помощью разного модельного инструментария, может достигать трех и более порядков величины.

Способов минимизации модельной неопределенности при выполнении КОР, как минимум, два:

1) традиционный для СССР, а теперь и современной России, при котором некоторая модель принимается в качестве эталонной и назначается нормативной, единственно разрешенной к применению при выполнении КОР;

2) разработка наиболее адекватной модели, экспериментально верифицированной с четко очерченной областью применимости.

Вычислительная неопределенность своим возникновением обязана приближенным методам решения модельных уравнений. Аналитическое решение модельных уравнений в настоящее время является экзотикой. Решения получают с помощью современных

прикладных программ на ЭВМ. Однако даже если все параметры модели заданы точно, представление величин в машинных кодах в виде чисел с плавающей запятой, подразумевающее неизбежное округление, отсечение членов ряда, остановка итерационного вычислительного процесса и т.д. порождают неопределенность приближенных вычислений. Еще один источник вычислительной неопределенности, обязанный своим происхождением особенностям интервальных расчетов, будет рассмотрен ниже.

Традиционное математическое моделирование оперирует с точечными, скалярными значениями параметров (как входных, так и параметров модели). И результат расчетов также принято представлять в виде скалярного числа. На самом деле с учетом перечисленных выше обстоятельств результат математического моделирования всегда представляет собой интервал. Разумеется, процедура КОР ОПО в рамках риск-ориентированного подхода не является исключением. Однако совершенно очевидно, что эти скалярные значения показателей риска на самом деле являются лишь маркерами интервалов, в которых в реальности может меняться их величина.

Интервальное представление параметрической неопределенности

Действующее Руководство [8] по анализу и количественной оценке риска аварий на ОПО рекомендует оценивать неопределенность полученных показателей риска, однако не говорит о том, как это сделать. Между тем, как известно, существует несколько способов решения данной задачи: а) с использованием нечетких чисел; б) в вероятностной постановке; в) с помощью интервальных чисел.

Последний способ нам представляется наиболее универсальным, поскольку не требует привлечения каких-либо гипотез о поведении величины параметра внутри диапазона изменений, [2], что необходимо как при вероятностном описании неопределенности, так и при использовании нечетких чисел. Следует четко отдавать себе отчет в том, что вероятностное описание величины подразумевает наличие у нее функции распределения вероятности (в дифференциальной или интервальной форме). А последнее возможно только при наличии генеральной совокупности объектов заданного типа, при наличии статистической устойчивости, когда любые выборочные параметры стремятся к теоретическим вероятностным значениям при бесконечном увеличении объема выборки.

На реальных ОПО едва ли удастся обнаружить множество элементов, которые могли бы быть объединены в генеральную совокупность. Изготовленные различными предприятиями, имеющие различную историю нагрузок и обслуживания, даже такие простые элементы, как задвижки, на деле обладают существенно различающимися свойствами. Поэтому принятие для них, например, гипотезы о нормальном распределении прочности с за-

данным средним и стандартным отклонением, требует серьезного обоснования.

Значительно надежнее задать ту же величину интервальным числом (интервалом). Последнее будет означать, что величина параметра находится в установленных пределах, при этом ничего не утверждается о том, как она распределена внутри данного диапазона.

Задание величины параметров математических моделей интервалами адекватно их природе с учетом наличия у них неопределенности. К настоящему времени интервальный анализ (ветвь математики, оперирующая интервальными числами) получил значительное развитие и позволяет выполнять все необходимые для КОР расчеты и получать показатели риска в виде интервалов.

Подавляющая часть математических моделей, используемых в действующих Руководствах по количественной оценке аварийного риска, являются аналитическими (параметрическими). Поэтому вычисление показателей риска является задачей поиска области значений целевой функции, а в интервальной постановке – внешней оценки области значений.

Выполнение КОР в интервальной постановке как нельзя лучше соответствует цели КОИ, поскольку ширина полученных интервальных чисел непосредственно количественно оценивает их неопределенность. Для практиков ситуация облегчается тем обстоятельством, что к настоящему времени разработаны и представлены на рынке специальные программные продукты, поддерживающие интервальные вычисления. Одной из таких программ является INTLAB toolbox, разработанная профессором З.М. Румпом из Гамбургского института надежных вычислений. INTLAB – это интервальное приложение MATLAB, позволяющее производить вычисления с интервальными числами.

Очевидным достоинством интервальной формы выражения параметрической неопределенности является также возможность одновременного учета неопределенности различного типа:

- а) измерительной, традиционно выражаемой как среднее \pm измерительная неопределенность (по-старому \pm погрешность измерения);
- б) эпистемической, выраженной в форме интервалов;
- в) стохастической (при наличии функции распределения вероятности), заданной доверительными интервалами.

Негативные особенности интервальных методов и способы их минимизации

Имеющийся опыт показывает, что если расчеты целевых показателей риска выполнять естественными (ранее называемыми наивными) интервальными методами, без принятия специальных мер по уменьшению вычислительной неопределенности, то в качестве результата нередко можно получить интервальные величины очень

значительной ширины, что лишает результат всякого практического смысла.

Отметим, что за последние десятилетия интервальный анализ усилиями отечественных и зарубежных специалистов получил значительное развитие, см. например [9–11]. Было показано, что некоторые трудные математические задачи решаются его методами успешнее, чем в рамках классической математики. Одновременно выявлены и исследованы проблемы, присущие исключительно интервальному анализу:

а) непропорциональное увеличение ширины результата расчетов в случаях, когда параметры расчетного выражения входят в него более одного раза;

б) аналогичное уширение результата в ситуации, когда эти параметры связаны функциональной зависимостью.

Для минимизации указанных негативных эффектов разработано несколько методов: метод дробления интервалов Раймона Мура (Ramon Moore), метод ветвей и границ, метод глобальной оптимизации и др.

Способ уменьшения неопределенности целевых метрик риска в интервальной постановке с использованием информации о распределении величины параметров

В ситуации, когда имеется надежная, статистически устойчивая информация о распределении величины параметров внутри интервалов их изменений, имеется возможность существенно уменьшить неопределенность метрик риска. Это может быть сделано в развитие положения нормативной методики МЧС России [6], согласно которому величина индивидуального риска R , год⁻¹, для работника при его нахождении на территории объекта, определяется по формуле

$$R = \sum_{i=1}^I q_{im} P(i), \quad (1)$$

где $P(i)$ – величина потенциального риска в i -ой области территории объекта, год⁻¹;

q_{im} – вероятность присутствия работника в i -ой области территории объекта.

Данную идею применим не только к дислокации персонала на территории ОПО, но и к другим параметрам задачи. Предположим, что на рассматриваемом ОПО имеются надежные статистические данные, согласно которым:

1) P_1 времени (долей единицы) персонал находится на удалении X_1 от центра рассматриваемого технологического блока (ТБ), оставшееся время P_2 – на расстоянии X_2 ;

2) масса m_0 опасного вещества в технологическом блоке (ТБ), кг: а) в течение P_{m01} времени (долей единицы) $m_{01} \in [m_{01}; \overline{m_{01}}]$; б) P_{m02} времени $m_{02} \in [m_{02}; \overline{m_{02}}]$ и в) P_{m03} времени $m_{03} \in [m_{03}; \overline{m_{03}}]$;

3) по имеющейся метеорологической информации может быть восстановлена дискретная плотность вероятности распределения температуры атмосферного воздуха, что можно проиллюстрировать на конкретном примере. Согласно СП 131.13330.2012 [12] среднемесячные температуры атмосферного воздуха t_g в районе расположения некоего ОПО, °С: I – -12,1; II – -11,4; III – -4,6; IV – -4,7; V – 12,0; VI – 16,5; VII – 18,6; VIII – 16,1; IX – 10,3; X – 3,4; XI – -3,7; XII – -9,4. Введя обозначение $T_g = t_g + 273,15$, К, имеем $T_g \in [261,05; 291,75]$ К. Выполнив внешнее округление границ интервала до целых чисел, получим $T_g \in [261; 292]$ К.

Аппроксимируем средствами MATLAB годовой ход температуры [13] полиномом шестой степени, результаты представим на рис. 1.

Затем разобьем весь диапазон температур t_g на 31 подинтервал шириной 1 К и подсчитаем частоты n_j попадания температуры в эти подинтервалы ($j = 1, 2, \dots, 31$). В качестве дискретной оценки вероятностей P_{Tj} распределения температуры воздуха в диапазоне [261; 292] К примем величины $P_{Tj} = n_j / 31$ (очевидно, что условие нормировки $\sum_{j=1}^{31} P_{Tj} = 1$ выполнено).

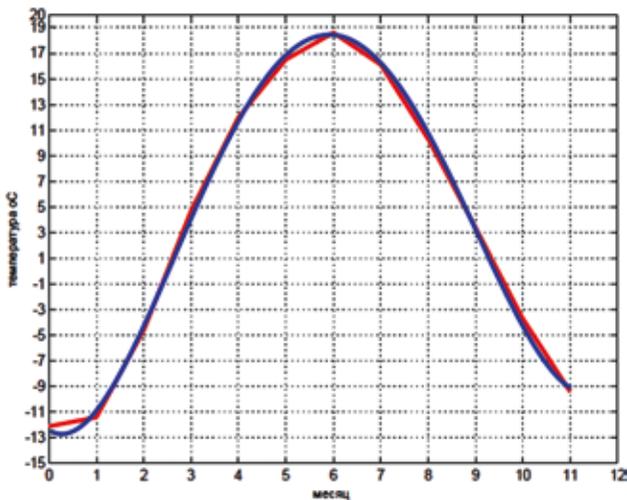


Рис. 1. Годовой ход температуры атмосферного воздуха:
— по СП 131.13330.2012;
— полиномиальная аппроксимация

Далее рассчитаем целевые метрики риска (например, индивидуальный риск R_{ijk}) для всех сочетаний подинтервалов параметров ($i = 1, 2$ – удаленность персонала от эпицентра аварии в момент аварии; $j = 1, 2, \dots, 31$ – температура атмосферного воздуха; $k = 1, 2, 3$ – количество опасного вещества в ТБ).

Рассматривая параметры X_i , T_j и m_{ok} в качестве независимых случайных величин, целевую метрику (индивидуальный риск $R_{инд}$) рассматриваемого технологического блока рассчитаем по соотношению

$$R_{инд} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{31} \sum_{k=1}^3 R_{ijk} P_{X_i} P_{T_j} P_{m_{ok}} \quad (2)$$

Выполненный данным методом с помощью INTLAB расчет индивидуального аварийного риска показал, что предложенный способ позволяет существенно уменьшить его неопределенность (ширину интервала).

Пример оценки индивидуального аварийного риска предложенным способом для сценария огненного шара

Рассмотрим еще один пример использования предложенного способа. Как известно, одним из сценариев аварии резервуара, содержащего горючее вещество в жидкой фазе, является взрыв типа BLEVE. Подобный сценарий, как показывает статистика реальных аварий (см., например, [14]), может быть реализован в ситуациях, когда сферический резервуар или цилиндрическая емкость горизонтального типа с горючим веществом (СУГ, ЛВЖ) окажется в очаге пожара. Если приток тепла извне настолько велик, что истечение паровых струй через раскрытые клапаны резервуара не сможет предотвратить нарастание давления в его паровом пространстве, в какой-то момент резервуарная оболочка лопнет. В окружающее пространство будет выброшено капельно-паровое облако переобогащенной горючей смеси, которое мгновенно загорится по периферии и начнет всплывать в атмосфере, испуская мощный поток теплового излучения. Феноменологически «огненный шар» (ОШ) представляет собой ярко светящееся облако переменной формы, температура и мощность излучения которого непостоянна как во времени, так по поверхности. Однако в инженерной практике ОШ обычно упрощенно имитируют светящейся сферой, обладающей постоянной поверхностной интенсивностью инфракрасного излучения и всплывающей в атмосфере под действием сил плавучести.

В качестве целевого показателя риска данного сценария аварии рассмотрим индивидуальный аварийный риск – вероятность смертельного поражения персонала падающим тепловым потоком. Руководство по КОР CCPS of AIChE [4] предлагает для расчета параметров ОШ (диаметра $D_{ОШ}$, высоты расположения центра $H_{ОШ}$ и продолжительности свечения $t_{ОШ}$) эмпирические зависимости, являющиеся степенными соотношениями: $D_{ОШ} = 5,8 \cdot m_0^{0,33}$; $H_{ОШ} = 0,75 \cdot D_{ОШ}$, где m_0 – начальная масса горючего вещества в резервуаре, кг. Интересно отметить оригинальную особенность модели ОШ [4] – в ней расчетное соотношение для параметра $t_{ОШ}$ зависит от величины m_0 :

$$\text{а) при } m_0 < 30\,000 \text{ кг } t_{ОШ} = 0,45 m_0^{0,33}, \quad (3)$$

$$\text{б) при } m_0 > 30\,000 \text{ кг } t_{ОШ} = 2,6 m_0^{0,166}. \quad (4)$$

Для энергетической светимости E_f ОШ, возникших после BLEVE, по мнению CCPS of AIChE, типично $E_f \in [200; 350]$ кВт/м².

В аппроксимации ОШ точным излучателем падающий на объект-мишень тепловой поток I , кВт/м², может быть согласно [4] вычислен так:

$$I = E_f \tau_a \left(R_{\text{ОШ}} - \frac{D_{\text{ОШ}}}{2} \right) F_q, \quad (5)$$

где $R_{\text{ОШ}}$ – расстояние от центра ОШ до объекта-мишени, м;

$\tau_a(X)$ – прозрачность атмосферного воздуха для потока инфракрасного излучения;

F_q – геометрический фактор видимости для вертикальной поверхности (например, стоящего человека).

Поскольку поглощение в атмосфере теплового излучения обеспечивается в основном молекулами водяного пара, CCPS of AIChE рекомендует воспользоваться для оценки τ_a корреляцией Питерсена и Хуэрта (Pietersen and Huerta)

$$\tau_a(X) = 2,02 (P_w X)^{-0,09}, \quad (6)$$

где P_w – парциальное давление водяного пара, Па;

X – длина пути, пройденного в атмосфере лучом, м.

Для вычисления P_w при известных относительной влажности R_H , %, и температуре воздуха T_a , К, Мудан и Кроче (Mudan & Croce), предложили простую корреляцию, справедливую в диапазоне $104 < P_w \cdot X < 105$ Н/м:

$$P_w = 1013,25 R_H \exp \left(14,4114 - \frac{5328}{T_a} \right). \quad (7)$$

Относительную влажность воздуха в районе расположения ОПО зададим интервалом $R_H \in [50, 85]\%$.

Согласно [4] для расстояний X , превышающих радиус ОШ, F_q рассчитывается по формуле

$$F_q = \frac{X \left(\frac{D_{\text{ОШ}}}{2} \right)^2}{(X^2 + H_{\text{ОШ}}^2)^{3/2}}, \quad (8)$$

которая с учетом соотношения $H_{\text{ОШ}} = 0,75 D_{\text{ОШ}}$ легко преобразуется к виду:

$$F_q = \frac{4\beta_x}{9(1 + \beta_x^2)^{3/2}}, \quad (9)$$

где $\beta_x = \frac{X}{H_{\text{ОШ}}}$ – безразмерное расстояние.

Вероятность поражения человека тепловым излучением $P_{\text{пор}}$ при выполнении КОР оценивают с помощью так называемой пробит-функции Pr. Данный подход, впервые предложенный Финни (Finney), пригоден для

описания отклика объекта на воздействие любого фактора случайной природы, если этот эффект подчиняется нормальному распределению вероятности, [4]. Зависимость $P_{\text{пор}}(\text{Pr})$ может быть выражена через стандартную функцию ошибок:

$$P_{\text{пор}}(\text{Pr}) = 0,5 \left[1 + \text{erf} \left(\frac{\text{Pr} - 5}{\sqrt{2}} \right) \right]. \quad (10)$$

Функцию Pr смертельного поражения человека тепловым потоком Руководство [4] рекомендует рассчитывать по соотношению:

$$\text{Pr} = -14,9 + 2,56 \cdot \ln \left(\frac{t_{\text{экс}} \cdot I^{4/3}}{10^4} \right), \quad (11)$$

где $t_{\text{экс}}$ – продолжительность экспозиции, с (в случае ОШ $t_{\text{экс}} = t_{\text{ОШ}}$);

I – интенсивность падающего на человека теплового потока ОШ, Вт/м².

Очевидно, что если плотность падающего теплового потока I выразить в кВт/м², то

$$\text{Pr} = -14,9 + 2,56 \cdot \ln (t_{\text{экс}} \cdot I^{4/3}), \quad (12)$$

Выполним в интервальной постановке оценку индивидуального аварийного риска поражения персонала некоего условного ОПО тепловым потоком ОШ:

$$R_{\text{инд}} = P_{\text{пор}} \cdot P_{\text{ав}}, \quad (13)$$

где $P_{\text{ав}}$ – вероятность реализации данного сценария аварии, год⁻¹.

Положим, что в рассматриваемом случае ОШ возникает после взрыва расположенного на его территории РГС-100 (резервуара горизонтального стального) с изопропиловым спиртом, попавшего в очаг пожара. Пусть вероятность $P_{\text{ав}}$ оценена величиной $P_{\text{ав}} \in [3,8; 5,7] \times 10^{-5}$ год⁻¹.

Далее, предположим, что:

- согласно надежным статистическим данным:

а) персонал ОПО, попадающий в зону поражения аварии: 1) в течение 25% времени ($P_{x1} = 0,25$) находится на удалении $X_1 \in [70; 80]$ м от резервуара, оставшееся время ($P_{x2} = 0,75$) – на расстоянии $X_2 \in [80; 100]$ м;

б) масса m_0 изопропилового спирта в резервуаре: а) в течение 20% времени ($P_{m01} = 0,2$) $m01 \in [30\ 000; 40\ 000]$ кг; б) 50% времени ($P_{m02} = 0,5$) $m02 \in [40\ 000; 50\ 000]$ кг и в) 30% времени ($P_{m03} = 0,3$) $m03 \in [50\ 000; 60\ 000]$ кг;

- среднемесячные значения температуры атмосферного воздуха в районе расположения ОПО соответствуют величинам, приведенным в предыдущем разделе.

Таблица. Результаты оценки индивидуального аварийного риска в интервальной постановке тремя способами

Значение параметра	Интервальный способ оценки		
	«наивный»	с принятием мер по учету влияния взаимозависимости параметров	дополнительно, с учетом имеющейся статистической информации
Величина индивидуального аварийного риска, год ⁻¹	$[0,0; 0,56] \times 10^{-4}$	$[0,0001; 0,54] \times 10^{-4}$	$[0,0034; 0,4] \times 10^{-4}$

Интервальный расчет индивидуального аварийного риска $R_{инд}$ рассматриваемого сценария аварии для персонала ОПО, выполним с помощью INTLAB тремя способами: а) «наивным»; б) с нивелированием взаимозависимости параметров модели простейшим методом Р. Мура; в) с учетом имеющейся статистической информации (по соотношению (2)). Результаты расчетов отразим в итоговой таблице.

Анализ таблицы свидетельствует, что предложенные способы позволяют значительно улучшить результаты интервальных расчетов (сузить интервалы), уменьшив вычислительную неопределенность.

Наряду с описанными в статье существуют и иные методы (аффинная арифметика, метод глобальной оптимизации), позволяющие эффективно преодолеть неоправданное уширение результатов интервальных расчетов.

Заключение

Интервальные методы расчета аварийного риска дают возможность не только учитывать неопределенность, присущую параметрам задачи, но и оперировать ею, позволяя количественно оценивать неопределенность целевых показателей задачи. В результате вычислений в интервальной постановке показатели риска также представлены интервалами, что совершенно естественно и адекватно ситуации с аварийной безопасностью реальных опасных объектов техносферы.

При этом расчеты в естественной (наивной) версии интервального анализа из-за ее специфических особенностей могут сопровождаться значительным непропорциональным ростом ширины интервала результата вычислений. На сегодняшний день разработаны эффективные способы поиска области значений интервальнозначных функций, позволяющие получить результаты, свободные от паразитного уширения.

В работе представлены результаты интервальных расчетов индивидуального аварийного риска одного из простых сценариев аварии тремя способами: а) естественным методом; б) с нивелированием связанности параметров модели; в) с использованием имеющейся надежной информации о поведении ряда параметров задачи внутри их интервалов. Показано, что второй и, особенно, третий методы позволяют существенно уменьшить ширину интервала целевого показателя аварийного риска.

Библиографический список

1. Колесников Е.Ю., Теляков Э.Ш. О роли методологии анализа риска в управлении пожарной и промышленной безопасностью // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. № 1. С. 285.
2. Колесников Е.Ю. Количественная оценка неопределенности пожарного риска. сценарий аварии «Пожар пролива ЛВЖ» // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11. № 4. С. 52.

3. CPR-14E Methods for the calculation of Physical Effects: 3-rd. ed. The Hague, 2005.

4. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis: 2-nd ed. AIChE/CCPS, 2000.

5. World bank technical paper number 55. Techniques for Assessing Industrial Hazards. A Manual. Washington D. C., 1988.

6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. Приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 г. № 649 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404».

7. Lee's Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 1-3. 3-rd ed. Elsevier, 2005.

8. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 11.04.2016. Сер. 27. Вып. 16. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 55 с.

9. Moore, Ramon E. Introduction to interval analysis / Ramon E. Moore, R. Baker Kearfott, Michael J. Cloud. Philadelphia, 2009.

10. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: «XYZ», 2019. URL: <http://www.nsc.ru/interval> (дата обращения 10.01.2020).

11. Хансен Э., Уолстер Дж.У. Глобальная оптимизация с помощью методов интервального анализа. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика. Институт компьютерных исследований, 2012.

12. СП 131.13330.2012 Строительная климатология.

13. Зверев А.С., Кирюхин Б.В., Кондратьев К.Я и др. Курс метеорологии (физика атмосферы): учебное пособие. / Под ред. П.Н. Тверского. Л.: Гидрометеиздат, 1951.

14. Prugh R. W. Quantitative Evaluation of Fireball Hazards // Process Safety Progress. 1994. v. 13. № 2. p. 83.

Сведения об авторе

Колесников Евгений Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Российская Федерация, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, e-mail: e.konik@list.ru

Вклад автора в статью

Статья написана Колесниковым Е.Ю. единолично. Ее идея принадлежит автору, все расчеты выполнены автором без чьего бы то ни было участия.

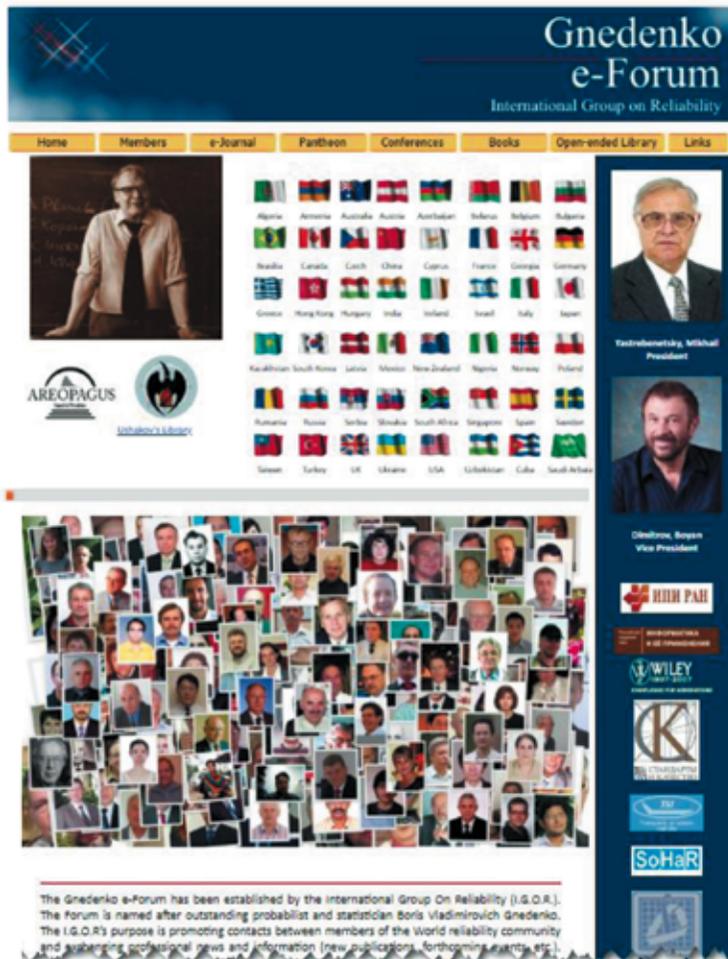
Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.



GNEDENKO FORUM

INTERNATIONAL GROUP ON RELIABILITY



The Gnedenko e-Forum has been established by the International Group On Reliability (I.G.O.R.). The Forum is named after outstanding probabilist and statistician Boris Vladimirovich Gnedenko. The I.G.O.R.'s purpose is promoting contacts between members of the World reliability community and publishing professional news and information (new publications, forthcoming events, etc.).

Gnedenko Forum основан в 2004 году неофициальной международной группой экспертов в области теории надёжности для профессиональной поддержки исследователей всего мира, заинтересованных в изучении и развитии научных, технических и пр. аспектов теории надёжности, анализа рисков и безопасности в теоретической и прикладной областях.

Форум создан в сети Интернет как некоммерческая организация. Его цель – привлечь к совместному обсуждению и общению технических специалистов, заинтересованных в развитии теории надёжности, безопасности и анализа рисков, независимо от места их проживания и принадлежности к тем или иным организациям.

Форум выступает в качестве объективного и нейтрального лица, распространяющего научную информацию для прессы и общественности по вопросам, касающимся безопасности, анализа риска и надёжности сложных технических систем. Он опубликует обзоры, технические документы, технические отчеты и научные эссе для распространения знаний и информации.

Форум назван в честь Бориса Владимировича Гнеденко, выдающегося советского математика, специалиста в области теории вероятностей и её приложений, академика Украинской академии наук. Форум является площадкой для распространения информации о стипендиях, академических и профессиональных позициях, открывающихся в профессиональной области надёжности, безопасности и анализа рисков по всему миру.

В настоящее время в Форуме состоят 500 участников из 47 стран мира.

Начиная с января 2006 года, Форум выпускает свой ежеквартальный журнал Reliability: Theory & Applications (www.gnedenko.net/RTA). Журнал зарегистрирован в Библиотеке Конгресса США (ISSN 1932-2321) и публикует статьи, критические обзоры, воспоминания, информацию и библиографии на теоретические и прикладные аспекты надёжности, безопасности, живучести, технического обслуживания и методы анализа и управления рисками.

С 2000 года журнал индексируется в международной базе Scopus.



Членство в GNEDENKO FORUM не подразумевает никаких обязательств. Достаточно прислать по адресу a.bochkov@gmail.com свою фотографию и краткую профессиональную биографию (резюме). Образцы можно найти на <http://www.gnedenko.net/personalities.htm>

ТРЕБОВАНИЯ РЕДАКЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛАХ ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ IDT PUBLISHERS

Требования к формату статьи

Статья представляется в редакцию в электронном формате, в виде файла, созданного в текстовом редакторе MS Word из пакета Microsoft Office (файл с расширением *.doc или *.docx). Текст набирается черным шрифтом на листе формата А4 с полями: левое, верхнее, нижнее – 2 см; правое – 1,5 или 2 см. Минимальный объем статьи – 5 страниц, максимальный (может быть увеличен по согласованию с редакцией) – 12 страниц. При этом статья включает структурные элементы, описание которых представлено ниже.

Структура материала статьи

Представленные ниже структурные элементы статьи отделяются друг от друга *пустой строкой*. Отдельные примеры оформления, как это должно выглядеть в тексте, выделены *синим шрифтом*.

1) Название статьи

Название статьи представляется на русском и английском языках. Название статьи на русском языке должно соответствовать содержанию статьи. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Оформление: Текст названия набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «полужирный». Точка в конце не ставится.

Пример:

Повышение надежности электронных компонентов
The Increasing of dependability of electronic components

2) Фамилия И.О. автора (авторов)

Данный структурный элемент для каждого автора включает:

- на русском языке – его фамилию и инициалы, после которых указывается сноска в виде цифры, набранной верхним индексом (надстрочным), которая ссылается на указание места работы автора. У фамилии автора, который будет контактировать с редакцией, также верхним индексом (после цифры) указывается символ «*»;

- на английском языке – его фамилию, имя и отчество в формате «Имя, инициал отчества, фамилия» (Ivan I. Ivanov). Фамилию на английском языке необходимо указывать в соответствии с заграничным паспортом или так, как она была указана в ранее опубликованных статьях. Если автор не имеет заграничного

паспорта и/или публикаций, для транслитерации фамилии и имени необходимо использовать стандарт BSI.

Оформление: Текст ФИО набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «полужирный». ФИО разделяются запятой, точка в конце не ставится.

Пример:

Иванова А.А.¹, Петров В.В.^{2*}
Anna A. Ivanova, Victor V. Petrov

3) Место работы автора (авторов)

Место работы авторов приводится на русском языке, перед указанием места набирается верхним индексом (надстрочным) соответствующая цифра сноски, указывающая на имя автора.

Оформление: Текст места работы набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный». Каждое место работы – с новой строки, точки в конце не ставятся.

Пример:

¹Московский государственный университет, Российская Федерация, Москва

²Санкт-Петербургский институт теплоэнергетики, Российская Федерация, Санкт-Петербург

4) Адрес электронной почты автора, который будет вести переписку с редакцией

Оформление: Текст адреса набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный», все символы – строчные. Перед адресом набирается символ сноски «*». Точка в конце не ставится.

Пример:

*petrov_vv@aaa.ru

5) Резюме статьи

Данный структурный элемент включает структурированную аннотацию статьи объемом не менее 350 слов и не более 400 слов. Резюме представляется на русском и английском языках. Резюме должно содержать (желательно в явной форме) следующие разделы: Цель; Методы; Результаты; Выводы (на англ. яз.: Objective, Methods, Results, Conclusion). В резюме статьи не следует включать впервые введенные термины, аббревиатуры (за исключением общеизвестных), ссылки на литературу.

Оформление: Текст резюме набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный», кроме слов «**Резюме.**», «**Цель.**», «**Методы.**», «**Выводы.**» («**Objective.**», «**Methods.**», «**Results.**», «**Conclusion.**»), которые (вместе с точкой) должны иметь начертание шрифта «полужирный». Текст резюме на отдельные абзацы не разделяется (набирается в один абзац).

Пример (на рус. яз.):

Резюме. Цель. Предложить подход ... с учетом современных методик. **Методы.** В статье применяются методы математического анализа, ..., теории вероятностей. **Результаты.** С использованием предложенного метода получено... **Заключение.** Предлагаемый в статье подход позволяет...

6) Ключевые слова

Указывается 5-7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли резюме (аннотацию) и название статьи. Ключевые слова указываются на русском и английском языках.

Оформление: Текст набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный», кроме слов «**Ключевые слова:**» («**Keywords:**») которые (вместе с двоеточием) должны иметь начертание «полужирный». Текст на отдельные абзацы не разделяется (набирается в один абзац). В конце ставится точка.

Пример (на рус. яз.):

Ключевые слова: надежность, функциональная безопасность, технические системы, управление рисками, производственная эффективность.

7) Текст статьи

Рекомендуется структурировать текст статьи в виде следующих разделов: Введение, Обзор источников, Методы, Результаты, Обсуждение, Заключение (или выводы). Рисунки и таблицы включаются в текст статьи (положение рисунков должно быть «в тексте», а не «за текстом» или «перед текстом»; без «обтекания текстом»).

Оформление:

Заголовки разделов набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, с абзацным отступом слева 1,25 см. Начертание шрифта «полужирный». Заголовки разделов (кроме введения и заключения (выводов)) могут иметь нумерацию арабскими цифрами с точкой после номера раздела. Номер с точкой отделяются от заголовка неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar).

Текст разделов набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, с абзацным отступом слева 1,25 см. Начертание шрифта «обычный» Текст разде-

лов разделяется на отдельные абзацы. Абзацный отступ не применяется для абзаца, следующего за формулой и содержащего пояснения к формуле, например:

где n – количество изделий.

Пример:

1. Состояние вопроса повышения надежности электронных компонентов

Проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы по теме исследования показал, что...

Рисунки (фотографии, скриншоты) должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Разрешение рисунка – не хуже 300 dpi. Если рисунок представляет собой схему, диаграмму, чертеж и т.п., то желательно вставлять такой рисунок в текст в редактируемом формате (MS Visio). Все рисунки должны иметь подрисуночные подписи. Рисунки нумеруются арабскими цифрами, по порядку следования в тексте. Если рисунок в тексте один, то он не нумеруется. Отсылки на рисунки оформляются следующим образом: «На рис. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. рис. 3)». Сокращение «рис.» и номер рисунка (если он есть) всегда разделяются неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar). Подрисуночная подпись включает порядковый номер рисунка и его название. Располагается на следующей строке после рисунка и выравнивается по центру:

Рис. 2. Описание жизненно важных процессов

Точка после подрисуночной подписи не ставится. *При выравнивании по центру абзацный отступ всегда должен отсутствовать!* Все обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте. Недопустимы отличия в обозначениях на рисунках и в тексте (включая различие прямых/наклонных символов). *При проблемах с версткой рисунков, вставленных в текст, авторы должны по запросу редакции предоставить данные рисунки в графическом формате, в виде файлов с расширениями *.tiff, *.png, *.gif, *.jpg, *.eps.*

Таблицы должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Таблицы должны быть пригодны для редактирования (а не отсканированные или в виде рисунков). Все таблицы должны иметь заголовки. Таблицы нумеруются арабскими цифрами, по порядку следования в тексте. Если таблица в тексте одна, то она не нумеруется. Отсылки на таблицы оформляются следующим образом: «В табл. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. табл. 3)». Сокращение «табл.» и номер таблицы (если он есть) всегда разделяются неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar). Заголовок таблицы включает порядковый номер таблицы и ее название. Располагается на строке, предшествующей таблице и выравнивается по центру:

Табл. 2. Описание жизненно важных процессов

Точка после заголовка таблицы не ставится. *При выравнивании по центру абзацный отступ всегда должен отсутствовать!* Все обозначения (символы), приведен-

ные в таблицах, необходимо пояснять в основном тексте. Недопустимы отличия в обозначениях в таблице и в тексте (включая различие прямых/наклонных символов).

Математические обозначения в тексте набираются заглавными и строчными буквами латинского, греческого и русского алфавитов. Латинские символы всегда набираются наклонным шрифтом (курсивом), кроме обозначений функций, таких как \sin , \cos , \max , \min и т.п., которые набираются прямым шрифтом. Греческие и русские символы всегда набираются прямым шрифтом. Размер шрифта основного текста и математических обозначений (включая формулы) должен быть одинаков; верхние и нижние индексы масштабируются в MS Word автоматически.

Формулы могут быть включены непосредственно в текст, например:

Пусть $y = a \cdot x + b$, тогда...

либо набираться в отдельной строке, с выравниванием по центру, например:

$$y = a \cdot x + b.$$

При наборе формул как в тексте, так и в отдельной строке, знаки препинания должны ставиться по обычным правилам – точка, если формулой заканчивается предложение; запятая (или отсутствие знака препинания), если предложение после формулы продолжается. Для разделения формулы и текста рекомендуется для строки с формулой устанавливать вертикальные отступы (6 пт перед, 6 пт после). Если в тексте статьи делается отсылка на формулу, то такая формула обязательно набирается отдельной строкой, по правому краю которой указывается номер формулы в круглых скобках, например:

$$y = a \cdot x + b. \quad (1)$$

Если формула набирается в отдельной строке и имеет номер, то данная строка выравнивается по правому краю, а формула и номер разделяются знаком табуляции; позиция табуляции (в см) выбирается таким образом, чтобы формула располагалась примерно по центру. Формулы, на которые в тексте делаются отсылки, нумеруются арабскими цифрами, по порядку следования в тексте.

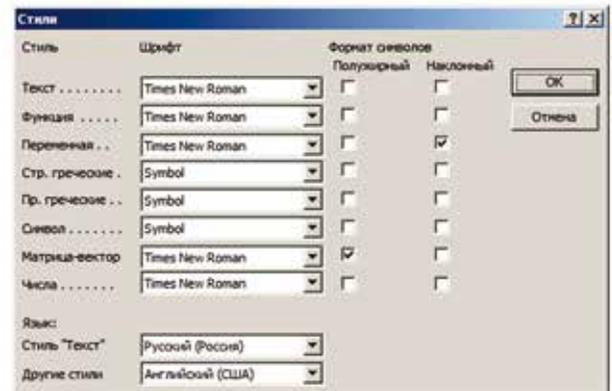
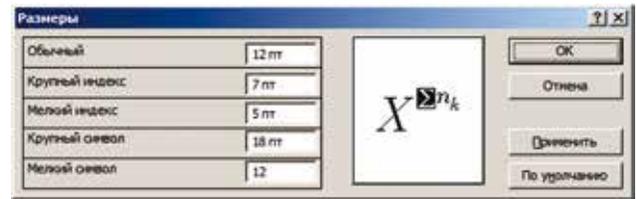
Простые формулы следует набирать без применения формульного редактора (использовать в MS Word русские и латинские буквы, а также меню «Вставка» + «Символ», если требуются греческие буквы и математические операторы), с соблюдением требуемого наклона для латинских символов, например:

$$\Omega = a + b \cdot \theta.$$

Если формула набирается без применения редактора формул, то между буквами и знаками «+», «-», «=» должны быть набраны неразрывные пробелы (Ctrl+Shift+Spacebar).

Сложные формулы набираются с применением редактора формул. Для отсутствия проблем с редак-

рованием формул и их версткой настоятельно рекомендуется использовать редакторы Microsoft Equation 3.0 или MathType 6.x. Для обеспечения корректного ввода формул (размер символов, их наклон и т.д.) рекомендуемые настройки редактора приведены на рисунках ниже.



При наборе формул в редакторе формул, если требуются скобки, то следует использовать скобки из формульного редактора, а не набирать их на клавиатуре (для корректной высоты скобок в зависимости от содержимого формулы), например (Equation 3.0):

$$Z = \frac{a \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{j=1}^m y_j \right)}{n + m}. \quad (2)$$

Сноски в тексте нумеруются арабскими цифрами, размещаются постранично. В сносках могут быть размещены: ссылки на анонимные источники в сети Интернет, ссылки на учебники, учебные пособия, ГОСТы, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и журналах, авторефераты, диссертации (если нет возможности процитировать статьи, опубликованные по результатам диссертационного исследования), комментарии автора.

Отсылка на библиографический источник указывается в тексте статьи в квадратных скобках, а источники приводятся в библиографическом списке в порядке их упоминания в тексте (затекстовые ссылки). Страница указывается внутри скобок, через запятую и пробел после номера источника: [6, с. 8]

8) Благодарности

В этом разделе указываются все источники финансирования исследования, а также благодарности людям, которые участвовали в работе над статьей, но не

являются ее авторами. Участие в работе над статьей подразумевает: рекомендации по совершенствованию исследования, предоставление пространства для исследования, ведомственный контроль, получение финансовой поддержки, одиночные виды анализа, предоставление реагентов/пациентов/животных/прочих материалов для исследования.

Оформление:

Сведения набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

9) Библиографический список

В библиографический список включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов и монографии), упоминающиеся в тексте статьи. Нежелательно включать в библиографический список авторефераты, диссертации, учебники, учебные пособия, ГОСТы, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах, на сайтах и в блогах. Если необходимо сослаться на такую информацию, следует поместить информацию об источнике в сноску.

При описании источника следует указывать его DOI, если удастся его найти (для зарубежных источников удастся это сделать в 95% случаев).

Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

В ссылках на статьи из журналов должны быть обязательно указаны год выхода публикации, том и номер журнала, номера страниц.

В описании каждого источника должны быть представлены все авторы.

Ссылки должны быть верифицированы, выходные данные проверены на официальном сайте журналов и/или издательств.

Оформление:

Оформление ссылок (в русскоязычной версии журнала) должно выполняться по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

Библиографические ссылки набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, с абзацным отступом слева 1,25 см. Начертание шрифта «обычный» (см. примеры оформления в ГОСТ Р 7.0.5). Каждая

запись имеет нумерацию арабскими цифрами с точкой после номера раздела. Номер с точкой отделяются от записи неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar).

10) Сведения об авторах

Фамилия, имя, отчество полностью (на русском и английском языках); полный почтовый адрес (включая индекс, город и страну); полное наименование места работы, занимаемая должность; ученая степень, ученое звание, почетные звания; членство в общественных союзах, организациях, ассоциациях и т.д.; официальное англоязычное название учреждения (для версии на английском языке); адрес электронной почты; перечень и номера журналов, в которых ранее публиковались статьи автора; фото авторов для публикации в журнале.

Оформление:

Сведения набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

11) Вклад авторов в статью

Следует указать подробно, каким из авторов что сделано в статье. Например: Автором А. выполнен анализ литературы по теме исследования, автором Б. разработана модель объекта в реальных условиях эксплуатации, выполнен расчет примера и т.д. Даже если у статьи один автор, то требуется указание его вклада.

Оформление:

Сведения набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

12) Конфликт интересов

Конфликт интересов – это условия, при которых у людей возникают вступающие в конфликт или конкурирующие интересы, способные повлиять на принятие редакторского решения. Конфликты интересов могут быть потенциальными или осознанными, а также реально существующими. На объективность могут повлиять личные, политические, финансовые, научные или религиозные факторы.

Автор обязан уведомить редакцию о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в статью.

Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом. Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

Оформление:

Текст набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

ЗАЯВКА НА ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ «НАДЕЖНОСТЬ»

с № _____ 20__ г. по № _____ 20__ г., количество экз. _____

Полное наименование организации	
Юридический адрес предприятия (индекс, страна, адрес)	
Почтовый адрес предприятия (индекс, страна, адрес)	
ИНН/КПП	
Расчетный счет	
Банк	
Корреспондентский счет	
БИК	
Контактное лицо: Ф.И.О., должность	
Телефон/факс, e-mail	

Реквизиты: ООО «Журнал «Надежность»

Адрес редакции: 109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д.27, стр.1, оф. 209

Тел./факс: (495) 967-77-02 , e-mail: dependability@bk.ru

ИНН 7709868505 КПП 770901001

р/с 40702810100430000017, ПАО «УРАЛСИБ БАНК» г. Москва

к/с 30101810100000000787

Адрес доставки:

Кому: _____

Куда: _____

Для оформления подписки на журнал «Надежность» заполните заявку и отправьте ее по факсу или электронной почте.

По всем вопросам, связанным с подпиской, обращайтесь в редакцию журнала.

Стоимость годовой подписки 4180-00 руб, в т.ч. НДС 10%.

Периодичность – 4 номера в год.

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ УЧАСТИИ И ПОДДЕРЖКЕ

АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»
(АО «НИИАС»)



АО «НИИАС» – ведущее предприятие ОАО «РЖД» в области создания комплексов и систем обеспечения безопасности движения, управления движением, геоинформационного обеспечения, мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры железных дорог



Цели:

- эффективность,
- безопасность
- надежность перевозок



Основные направления деятельности

- Интеллектуальные системы управления
- Технологии управления перевозками и транспортного обслуживания
- Системы автоматики и телемеханики
- Центры автоматизированного управления
- Информационные системы
- Геоинформационные системы и спутниковые технологии
- Системы транспортной безопасности
- Системы управления инфраструктурой
- Системы управления топливно-энергетическими ресурсами
- Испытания, сертификация и экспертиза
- Информационная безопасность
- Нормативно-правовое обеспечение

